



**PGDESIGN** | Programa de Pós-Graduação  
Mestrado | Doutorado



UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL  
ESCOLA DE ENGENHARIA E FACULDADE DE ARQUITETURA  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM DESIGN

MARINA PIRES DE CASTRO AGUIAR VALE

**CONTRIBUIÇÕES PEDAGÓGICAS PARA O ENSINO DA MORFOGÊNESE  
APLICADA EM PROJETOS DE DESIGN E ARQUITETURA**

Dissertação de Mestrado

Porto Alegre

2023

**MARINA PIRES DE CASTRO AGUIAR VALE**

**Contribuições pedagógicas para o ensino da morfogênese aplicada em  
projetos de design e arquitetura**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Design da Universidade Federal do Rio Grande do Sul, como requisito parcial à obtenção do título de Mestre em Design.

Orientador: Prof<sup>a</sup>. Dr<sup>a</sup> Léia Miotto  
Bruscatto

Porto Alegre

2023

### CIP - Catalogação na Publicação

Vale, Marina Pires de Castro Aguiar  
Contribuições pedagógicas para o ensino da  
morfogênese aplicada em projetos de design e  
arquitetura / Marina Pires de Castro Aguiar Vale. --  
2023.  
156 f.  
Orientadora: Léia Miotto Bruscato.

Dissertação (Mestrado) -- Universidade Federal do  
Rio Grande do Sul, Escola de Engenharia, Programa de  
Pós-Graduação em Design, Porto Alegre, BR-RS, 2023.

1. Ensino de Projeto. 2. Parametric Design  
Thinking. 3. Morfogênese. 4. Otimização. 5.  
Algoritmos Evolutivos. I. Bruscato, Léia Miotto,  
orient. II. Título.

**CONTRIBUIÇÕES PEDAGÓGICAS PARA O ENSINO DA MORFOGÊNESE  
APLICADA EM PROJETOS DE DESIGN E ARQUITETURA**

Este Projeto de Defesa foi julgado adequado para a obtenção do Título de Mestre em Design, e aprovado em sua forma final pelo Programa de Pós-Graduação em Design da UFRGS.

Porto Alegre, 16 de Fevereiro de 2023.

---

**Prof. Dr. Fabio Pinto da Silva**

Coordenador do Programa de Pós-Graduação em Design da UFRGS

**Banca Examinadora:**

---

Orientador: **Prof. Dra. Léia Miotto Bruscatto**  
PGDesign – Departamento de Arquitetura da UFRGS

---

**Prof. Dr. Daniel Ribeiro Cardoso**  
DAUD UFC – Examinador Externo

---

**Prof. Dra. Angélica Paiva Ponzio**  
PROPAR UFRGS – Examinador Externo

---

**Prof. Dr. Renato Vaz Linn**  
PGDesign UFRGS – Examinador Interno

## AGRADECIMENTOS

Gostaria de iniciar expressando meu agradecimento ao Programa de **Pós-Graduação em Design da Universidade Federal do Rio Grande do Sul (PGDesign)** pela oportunidade de realizar, e concluir, este trabalho.

Desejo demonstrar também meu agradecimento à banca de defesa, composta pelos professores **Prof Dr. Daniel Ribeiro Cardoso, Profª Drª. Angélica Paiva Ponzio e Prof Dr. Renato Vaz Linn**, cujas atuações e trabalhos influenciaram diretamente na composição desta pesquisa.

Agradeço em especial a minha orientadora **Profª. Drª. Léia Miotto Bruscatto** por acreditar, incentivar e possibilitar a conclusão dessa pesquisa sem jamais desistir de mim. Obrigada por me fazer persistir e acreditar ser possível. Obrigada por segurar minha mão em todo esse processo. Em conjunto, gostaria de agradecer à **Profª Drª. Angélica Paiva Ponzio** por toda colaboração, receptividade, troca de conhecimento durante o meu estágio docente na disciplina de Representação Gráfica 3. Obrigada por ampliar e potencializar quem eu era, e sou, enquanto professora e pesquisadora. Agradeço também a todos os demais colegas com quem troquei experiências durante o estágio: **Mário Guidoux, William Mog e o Rafael Piug**. Ainda, gostaria de agradecer **a todos os alunos** com quem cruzei caminho durante meu período acadêmico como tutora. Obrigada por fazerem eu me descobrir enquanto docente. Este trabalho é dedicado a todos vocês.

Quero agradecer, também, às colegas **Camila Ghislen e Fernanda De Gasperin** pelo companheirismo e amizade construídos desde o início do mestrado.

Obrigada a **Bruna Wendt**, que me recebeu na cidade de Porto Alegre e tanto colaborou tanto na construção desse trabalho, como em transformar o Rio Grande do Sul na minha nova casa.

Obrigada aos meus amigos, que mesmo distantes estiveram sempre ao meu lado incentivando toda essa trajetória: **Ana Letícia Rodrigues, Lidiane Lima, Maria Lorraine Sampaio, Maria Catarina de Alencar Ribeiro, Mariana Demétrio de Sousa Pontes e Nilo Macena Teixeira**. Em especial, gostaria de expressar minha

gradidão aos amigos **Breno Ehrich Colares** e **Lígia Grillo**, que ativamente colaboraram com esta pesquisa.

Gostaria de agradecer a minha família, especialmente aos **meus pais**, por apoiarem a minha caminhada acadêmica, mesmo ela significando estar distante de todos. Em particular, gostaria de agradecer à minha mãe, **Maria Tereza Pires de Castro Studart**, por incentivar com afinco a conclusão do meu trabalho sem jamais duvidar do meu potencial e capacidade. Obrigada.

Finalmente, quero agradecer diretamente a minha noiva, **Joyce Silva de Oliveira**. Obrigada por acreditar em mim quando eu mesma já não o fazia, quando eu havia esquecido do que eu era capaz. Obrigada por me incentivar, por estar ao meu lado, por, mesmo em meio a tempestade, me fazer sorrir. Concluir essa etapa só foi possível por sua causa. Obrigada.

Por fim, expresso meu agradecimento à Coordenação **de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES)**, pela bolsa concedida para realização da pesquisa.

*“Tudo é algoritmo.”*

Gregory Chaitin

## RESUMO

VALE, M. P. C. A. **Contribuições pedagógicas para o ensino da morfogênese aplicada em projetos de design e arquitetura.** 2023. 156 f. Dissertação (Mestrado em Design) – Escola de Engenharia / Faculdade de Arquitetura, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2023.

Este trabalho desenvolveu, implementou e avaliou uma proposta de estratégia pedagógica que contemplou o ensino do projeto morfogenético computacional, e por consequência de modelo de desempenho, na instância de Ensino Remoto. Esse estudo se estabeleceu em quatro etapas: 1) Compreensão do problema; 2) Desenvolvimento da Proposta; 3) Implementação e teste de funcionamento; 4) Reflexões para contribuições teórico-práticas. A coleta de dados foi realizada por análise documental, questionários e observação qualitativa e ocorreu por meio da implementação de um curso em uma ação de extensão, no qual a estratégia elaborada foi aplicada. A análise dos dados apresentou que as estratégias pedagógicas propostas possuíram boa contribuição no processo e na experiência de aprendizado.

**Palavras-chave:** Ensino de Projeto. Parametric Design Thinking. Morfogênese. Otimização. Algoritmos Evolutivos.

## ABSTRACT

VALE, M. P. C. A. **Pedagogical Contributions to morphogenesis Applied to Architectural and Design Project**. 2023. 156 p. Thesis (Master in Design) – School of Engineering / Faculty of Architecture, Federal University of Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2023.

This work developed, implemented, and evaluated a proposal for a pedagogical strategy that included teaching computational morphogenetic design and, consequently, performance modeling in the context of remote teaching. The study was conducted in four stages: 1) understanding of the problem; 2) proposal development; 3) implementation and functional testing; 4) reflections for theoretical and practical contributions. Data collection was carried out through document analysis, questionnaires, and qualitative observation, which occurred through the implementation of a course in an extension action where the developed strategy was applied. Data analysis showed that the proposed pedagogical strategies had a good contribution to the learning process and experience.

**Keywords:** Project Teaching. Parametric Design Thinking. Morphogenesis. Optimization. Evolutionary Algorithms.

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Gráfico de perfil dos participantes do curso	35
Figura 2 – Gráfico apresentando a idade dos participantes do curso	35
Figura 3 – Gráfico com os semestres dos alunos de graduação	36
Figura 4 – Gráfico demonstrativo das temáticas de interesse dos alunos	36
Figura 5 – Expectativas de conhecimentos a serem adquiridos no curso	37
Figura 6 – Escala de classificação de proximidade dos alunos com os temas	39
Figura 7 – Classificação de conhecimento dos participantes quanto ao tema Bio-inspirações/Biomimética	39
Figura 8 – Classificação de conhecimento dos participantes quanto ao tema Modelagem Paramétrica/Design Algorítmico	40
Figura 9 – Classificação de conhecimento dos participantes quanto ao tema Morfogênese	40
Figura 10 – Classificação de conhecimento dos participantes quanto ao tema Otimização	41
Figura 11 – Classificação de conhecimento dos participantes quanto ao tema Otimização	41
Figura 12 – Exemplo das cartas do baralho do instituto Biomimicry 3.8 que foram traduzidas e utilizadas na aula	45
Figura 13 – Resultado da atividade prática 1 da aula 1	47
Figura 14 – Resultado da atividade prática 1 da aula 1	47
Figura 15 – Resultado da atividade prática 2 da aula 1	48

Figura 16 – Resultado da atividade prática 2 da aula 1	<b>48</b>
Figura 17 – Resultado da atividade prática 1 da aula 2	<b>54</b>
Figura 18 – Formas da caixa/cubo e da caixa retorcida utilizadas na aula 3	<b>55</b>
Figura 19 – Atividade computacional 1 da aula 3	<b>58</b>
Figura 20 – Atividade computacional 2 da aula 3	<b>59</b>
Figura 21 – Resultado da atividade prática 1 da aula 3	<b>60</b>
Figura 22 – Resultado da atividade prática 1 da aula 3	<b>61</b>
Figura 23 – Classificação de conhecimento dos participantes quanto ao tema Bio-inspirações/Biomimética	<b>63</b>
Figura 24 – Atividade computacional 2 da aula 3	<b>63</b>
Figura 25 – Atividade computacional 3 da aula 4	<b>64</b>
Figura 26 – Atividade computacional 3 da aula 4	<b>64</b>
Figura 27 – Diagrama explicativo da metáfora utilizada para explicar os conceitos de organização de listas do Grasshopper	<b>65</b>
Figura 28 – Imagens das coberturas a serem desenvolvidas na aula 5	<b>65</b>
Figura 29 – Atividade computacional 1 da aula 5	<b>66</b>
Figura 30 – Atividade computacional 2 da aula 5	<b>68</b>
Figura 31 – Resultado da atividade prática 1 da aula 5	<b>69</b>
Figura 32 – Imagem da cobertura utilizada nos exercícios da aula 6	<b>70</b>
Figura 33 – Atividade computacional 1 da aula 6	<b>71</b>
Figura 34 – Resultado da atividade prática 1 da aula 6	<b>73</b>
Figura 35 – Resultado da atividade prática 1 da aula 6	<b>74</b>

Figura 36 – Atividade computacional 1 da aula 6	<b>75</b>
Figura 37 – Resultado da atividade prática 1 da aula 7	<b>78</b>
Figura 38 – Resultado da atividade prática 1 da aula 7	<b>81</b>
Figura 39 – Atividade computacional 1 da aula 8	<b>81</b>
Figura 40 – Resultado da atividade prática 1 da aula 8	<b>84</b>
Figura 41 – Atividade computacional 1 da aula 9	<b>86</b>
Figura 42 – Resultado da atividade prática 1 da aula 9	<b>90</b>
Figura 43 – Gráfico apresentando as médias de cada dia de aula	<b>91</b>
Figura 44 – Gráfico apresentando os valores de influência no processo de aprendizado, experiência no processo de aprendizado e a média desses para cada um dos conteúdos teóricos abordados	<b>96</b>
Figura 45 – Gráfico apresentando os valores de influência no processo de aprendizado, experiência no processo de aprendizado e a média desses para cada um dos modelos de atividades práticas	<b>98</b>
Figura 46 – Gráfico apresentando os valores de influência no processo de aprendizado, experiência no processo de aprendizado e a média desses para cada uma das atividades computacionais	<b>100</b>
Figura 47 – Gráfico sobre as temáticas que os estudantes pretendiam continuar adotando em sua prática projetual	<b>102</b>

## LISTA DE QUADROS

Quadro 1 – Orçamento	24
Quadro 2 – Explicação da atividade prática 1 da aula 1	45
Quadro 3 – Explicação do conteúdo teórico de biomimética	46
Quadro 4 – Explicação da atividade prática 2 da aula 1	47
Quadro 5 – Descritivo de todos os conjuntos de cartas presente no baralho Biomimicry Innovation Toolkit	48
Quadro 6 – Explicação do conteúdo teórico de morfogênese	53
Quadro 7 – Explicação do conteúdo teórico de design algorítmico	54
Quadro 8 – Explicação da atividade prática 1 da aula 2	55
Quadro 9 – Explicação da atividade prática 1 da aula 3	58
Quadro 10 – Explicação da atividade prática 2 da aula 3	58
Quadro 11 – Explicação da atividade prática 1 da aula 5	69
Quadro 12 – Explicação da atividade prática 1 da aula 6	73
Quadro 13 – Explicação da atividade prática 2 da aula 6	74
Quadro 14 – Explicação do conteúdo teórico do Karamba 3D	79
Quadro 15 – Explicação da atividade prática 1 da aula 7	80
Quadro 16 – Explicação do conteúdo teórico de otimização	81
Quadro 17 – Explicação da atividade prática 2 da aula 7	82

Quadro 18 – Explicação do conteúdo teórico de algoritmos evolutivos	<b>84</b>
Quadro 19 – Explicação da atividade prática 1 da aula 1	<b>85</b>
Quadro 20 – Explicação da atividade prática 1 da aula 9	<b>89</b>
Quadro 21 – Explicação da atividade prática 1 da aula 10	<b>93</b>
Quadro 22 – Média de respostas das perguntas gerais sobre a metodologia implementada no curso	<b>104</b>

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Notas das avaliações diárias realizadas pelos alunos	<b>94</b>
Tabela 2 – Avaliação final das dinâmicas teóricas	<b>97</b>
Tabela 3 – Avaliação final das práticas	<b>100</b>
Tabela 4 – Avaliação final dos exercícios computacionais	<b>102</b>

## SUMÁRIO

<b>1 INTRODUÇÃO</b>	<b>19</b>
1.2 DELIMITAÇÃO DO TEMA	20
1.3 PROBLEMA DE PESQUISA	21
1.4 OBJETIVOS	21
<b>1.4.1 Objetivos gerais</b>	<b>21</b>
<b>1.4.2 Objetivos específicos</b>	<b>22</b>
1.5 JUSTIFICATIVA	22
1.6 METODOLOGIA	24
<b>1.6.1 Compreensão do problema</b>	<b>25</b>
<b>1.6.2 Desenvolvimento da proposta</b>	<b>26</b>
<b>1.6.3 Implementação e teste de funcionamento</b>	<b>26</b>
<b>1.6.4 Reflexões para contribuições teórico-práticas</b>	<b>27</b>
<b>2 REFERENCIAL TEÓRICO</b>	<b>29</b>
2.1 TEORIAS DA NATUREZA	29
2.2 SISTEMAS COMPLEXOS	31
2.3 O NOVO PARADIGMA DE PROJETO	33
<b>3 RESULTADOS</b>	<b>37</b>
3.1. CONTEXTO GERAL	37
3.2 SOBRE AS AULAS	38
3.3 DOS PARTICIPANTES	39
<b>3.3.1 Aula 1</b>	<b>47</b>
3.3.1.1 Resultados da aula 1	51
3.3.1.2 Avaliação dos alunos da aula 1	54
<b>3.3.2. Aula 2</b>	<b>55</b>
3.3.2.1 Resultados da aula 2	58

3.3.2.2 Avaliação dos alunos da aula 2	59
<b>3.3.3 Aula 3</b>	<b>60</b>
3.3.3.1 Resultados da aula 3	64
3.3.3.2 Avaliação dos alunos da aula 3	65
<b>3.3.4 Aula 4</b>	<b>66</b>
3.3.4.1 Resultados da aula 4	70
3.3.4.2 Avaliação dos alunos da aula 4	71
<b>3.3.5 Aula 5</b>	<b>71</b>
3.3.5.1 Resultados aula 5	74
3.3.5.2 Avaliação dos alunos da aula 5	75
<b>3.3.6 Aula 6</b>	<b>76</b>
3.3.6.1 Resultados da aula 6	79
3.3.6.1 Avaliação dos alunos da aula 6	81
<b>3.3.7 Aula 7</b>	<b>82</b>
3.3.7.1 Resultados da aula 7	87
3.3.7.2 Avaliação dos alunos da aula 7	89
<b>3.3.8 Aula 8</b>	<b>89</b>
3.3.8.1 Resultados da aula 8	92
3.3.8.2 Avaliação dos alunos da aula 8	93
<b>3.3.9 Aula 9</b>	<b>94</b>
3.3.9.1 Resultados da aula 9	97
3.3.9.2 Avaliação dos alunos da aula 9	97
<b>3.3.10 Aula 10</b>	<b>98</b>
3.3.10.1 Resultados da aula 10	100
3.3.10.2 Avaliação dos alunos da aula 10	100
<b>3.4 RESULTADOS GERAIS</b>	<b>101</b>
<b>3.4.1 Com base nos questionários diários</b>	<b>101</b>

<b>3.4.1 Com base no questionário final</b>	<b>103</b>
3.4.1.1 Avaliação dos conteúdos teóricos	103
3.4.1.2 Avaliação das atividades práticas	105
3.4.1.3 Avaliação dos exercícios computacionais	108
3.4.1.4 Avaliação geral da metodologia	111
<b>4. CONSIDERAÇÕES FINAIS</b>	<b>115</b>
<b>REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS</b>	<b>117</b>
<b>ANEXO A</b>	<b>122</b>
<b>ANEXO B</b>	<b>126</b>
<b>ANEXO C</b>	<b>130</b>
<b>ANEXO D</b>	<b>136</b>
<b>ANEXO E</b>	<b>140</b>
<b>ANEXO F</b>	<b>146</b>
<b>ANEXO G</b>	<b>147</b>
<b>ANEXO H</b>	<b>151</b>
<b>ANEXO I</b>	<b>152</b>
<b>ANEXO J</b>	<b>153</b>

## 1 INTRODUÇÃO

A aplicação de soluções biológicas é recorrente ao longo da história e pode ser observada em diversas áreas, como no design, na arquitetura, na engenharia, na medicina, entre outros (SOARES; ARRUDA, 2018). De acordo com Roudavski (2008), relatos históricos e experiências recentes confirmam que o uso de bioinspiração pode ser uma fonte rica e gratificante de inovação. O autor apresenta esse potencial por intermédio de três categorias: inspirações visuais quanto a questões morfológicas; conceituais, para princípios de organização; e generativas, para o desenvolvimento de processos adaptativos com maior integração dos sistemas do projeto. O uso de analogias da natureza aplicadas em projetos influencia em diferentes frentes de estudo, dentre as quais pode-se destacar o bio-inspirado, a biônica, a biomimética, o biodesign e a morfogenética. Nessa mesma perspectiva, Leach (2009) aponta que a biologia fornece uma das principais fontes de inspiração para a pesquisa em morfogênese na arquitetura. O autor exemplifica ainda que a natureza pode ensinar lições importantes sobre a eficiência de certas organizações estruturais.

Paralelamente, nas últimas quatro décadas as investigações científicas das relações existentes entre os indivíduos na natureza originaram outro campo, o estudo dos sistemas complexos. Essa área interdisciplinar busca compreender o funcionamento de sistemas naturais de múltiplos indivíduos simples, que, ao seguirem um conjunto de regras pré-definidas, estabelecem um comportamento não previsível e ordenado (MITCHELL 2009). Entretanto, esse fenômeno apresenta elevado grau de quantificação numérica, sendo necessário de forma recorrente o uso de interfaces digitais para a sua computação e implementação. Esse fato é igualmente evidente quando seus conceitos são aplicados como fatores de inovação em projetos de design e arquitetura.

Os avanços tecnológicos impactam igualmente no processo de projeto, com uma mudança de paradigma, na qual o enfoque foi destinado ao processo de projeto em detrimento do objeto final (OXMAN, 2008). Nesse, a implementação de abordagens projetuais potencializadas pelo uso do computador, como o design paramétrico, possibilitaram uma ênfase a procedimentos generativos e performativos de projeto digital, que fomentam a sua otimização de desempenho. Ainda,

possibilitaram também a implementação de conceitos da morfogênese biológica como abordagem projetual, culminando no desenvolvimento da morfogênese computacional, e respectivamente do projeto morfogenético.

Contudo, Carvalho (2019) disserta que, apesar do projeto morfogenético computacional já se apresentar como uma área estabelecida, há uma lacuna quanto ao desenvolvimento de estratégias para o ensino desses conceitos e suas respectivas implementações em projeto. Igualmente, Romcy (2017) expõe a necessidade de se pensar abordagens de ensino direcionadas a modelos de desempenho de projeto, que visam trabalhar com a otimização projetual.

Esse estudo se classifica como uma abordagem qualitativa e uma pesquisa descritiva. Ainda, sua estrutura é definida de acordo com o design science research, ou pesquisa construtiva, e se estabelece em quatro etapas: 1) Compreensão do problema; 2) Desenvolvimento da Proposta; 3) Implementação e teste de funcionamento; 4) Reflexões para contribuições teórico-práticas. A coleta de dados foi realizada por análise documental, questionários e observação qualitativa e ocorreu por meio da implementação de um curso em uma ação de extensão, no qual a estratégia elaborada foi aplicada, intencionando-se a construção de heurísticas para o ensino da morfogênese computacional a estudantes de design e arquitetura.

Desse modo, essa pesquisa se propõe a refletir sobre estratégias pedagógicas que possibilitem a apresentação e compreensão da morfogênese computacional, por meio de atividades práticas e computacionais, com gradativo ganho de complexidade. Ressalta-se ainda que há um foco quanto ao ensino dessa temática na modalidade de ensino remoto, devido ao isolamento social causado pela pandemia da Covid-19.

## 1.2 DELIMITAÇÃO DO TEMA

O escopo desta pesquisa é definido sob o ensino da implementação de conceitos pertencentes à morfogênese biológica como fator de otimização e inovação em projetos de design e arquitetura. Ressalta-se que essa ocorre por meio do design paramétrico, do pensamento algorítmico e da utilização de modelos de desempenho.

### 1.3 PROBLEMA DE PESQUISA

Ainda que o estudo do uso da natureza em projetos de design e arquitetura, como a biomimética, seja recorrente, esses estão, em sua maioria, pautados em analogias para inovações criativas principalmente quanto à forma e a função. Contudo, pesquisas recentes apontam para um novo campo de aplicação do "pensar como a natureza" e há uma demanda para quando sua implementação é destinada a otimização projetual, principalmente quando associada ao design computacional. Desse modo, questiona-se como promover o ensino do desempenho guiado pela natureza de modo a possibilitar a implementação desse por projetistas do design, da arquitetura e do urbanismo. Ainda, como efetuar tal ensino considerando as novas dinâmicas de docência com o distanciamento social?

### 1.4 OBJETIVOS

Nos tópicos a seguir são apresentados os objetivos gerais e os respectivos objetivos específicos para este estudo.

#### **1.4.1 Objetivos gerais**

O objetivo geral deste trabalho foi de desenvolver, implementar e avaliar uma proposta de estratégia pedagógica que contemplasse o ensino do projeto computacional orientado pela natureza por meio de algoritmos evolutivos, e por consequência de modelo de desempenho, na instância de Ensino Remoto.

#### **1.4.2 Objetivos específicos**

Conseqüentemente, de acordo com o objetivo geral, estabeleceram-se os respectivos objetivos específicos:

1. Desenvolver e adaptar, quando necessário, artefatos e materiais didáticos a serem utilizados nas dinâmicas pedagógicas;
2. Avaliar o uso de uma abordagem prática/computacional como meio de colaborar para a compreensão do design computacional e da morfogênese natural;
3. Avaliar a percepção e aceitação dos discentes quanto às ferramentas de ensino remoto implementadas;
4. Desenvolver, aplicar e avaliar estratégias didáticas para o ensino das temáticas: design computacional, morfogênese, otimização e algoritmos evolutivos;
5. Propor diretrizes para a implementação do ensino do projeto computacional, da otimização e dos algoritmos evolutivos.

## 1.5 JUSTIFICATIVA

Por meio de uma revisão bibliográfica, concluiu-se que o ensino do uso da natureza em projetos tem sido tema recorrente de pesquisa, tanto no âmbito do design, quanto da arquitetura. Essa foi realizada em três etapas, primeiramente buscando por estudos relacionados ao uso e ensino da biomimética, em seguida a aproximação desta com o design computacional, e por fim, por projetos que diretamente vinculasse essas a modelos generativos e de desempenho.

Dentro desse contexto, os trabalhos expostos por Soares e Arruda (2018), Hsuan-An (2018), Gomes, Scheid e Oliveira (2018), Pazmino (2018) apresentam experiências didáticas para a implementação da biomimética ou da biônica como inovação projetual, contudo essa recorrentemente ocorre pelo intermédio de sistemas de analogias que pautam a natureza como inovação criativa seja para aspectos funcionais ou formais.

Quando buscamos trabalhos não diretamente relacionados ao ensino, destacamos a proposta de Kindlein Júnior *et al* (2002), que apresenta uma metodologia para o desenvolvimento de produto baseado no estudo da biônica. Ainda, Detanico (2011) propõe uma sistematização dos princípios de solução da natureza como ferramenta de apoio aos designers durante o processo criativo. Já

Ramos (2018), expõe o potencial da natureza de possibilitar soluções mais sustentáveis e aponta o uso das novas tecnologias de fabricação digital como viáveis alternativas para sua implementação. O autor aponta ainda que apesar das constantes pesquisas sobre a temática, essa possui grande potencial de aprofundamento e crescimento para os próximos anos, apontando o uso de conhecimentos da natureza como um diferencial necessário para a formação de novos profissionais.

Quando aproximamos a temática da natureza ao design digital e computacional, é possível destacar os trabalhos desenvolvidos por Silva (2017), que propõe o uso de ferramentas de modelagem paramétrica para a implementação de modelos de padrões da natureza com crescimento espiral. Já com pensamento inverso, Palombini (2016) apresentou o uso das ferramentas computacionais como meio de compreender a estrutura biológica do *B. tuldoides* para sua respectiva aplicação em design de produto.

Silva (2020) demonstra em seu estudo uma experiência didática que vinculou o uso de ferramentas digitais do design computacional com uma abordagem biomimética. Contudo, ressalta-se que os projetos desenvolvidos trabalharam com modelos formativos e não generativos e de desempenho.

Quando associamos o uso da natureza ao aspecto de otimização se faz necessário destacar os estudos realizados por Oxman (2014) e sua proposição "*Material Ecology*". A autora ressalta a necessidade de metodologias focadas na eficiência por meio da "*performance negotiation*", ou seja, o desempenho obtido com a correlação de parâmetros previamente opostos.

Carvalho (2019) apresenta em seu estudo uma revisão dos termos empregados nas bio-inspirações, devido à inconstância de significados encontrados na literatura, e propõe cinco projetos pautados na morfogênese computacional, sendo essa baseada na morfogênese natural. Nestes, o autor buscou explorar comportamentos de crescimento naturais em um processo constante de análise e síntese por meio de critérios de desempenho, visando a otimização de recursos e a sustentabilidade. Ainda em sua revisão sistemática de literatura, ele ressalta a lacuna encontrada quanto a trabalhos direcionados ao ensino do projeto morfogenético.

Paralelamente, apesar de todo o esforço quanto ao estudo do ensino dos

projetos bio-inspirações, em um levantamento realizado no catálogo de teses e dissertações da Capes não foi possível detectar nenhum trabalho que relacionasse o ensino do tema com os modelos generativos e de desempenho, estratégias essas que possibilitam e potencializam a implementação da natureza como recurso de otimização. Nesse âmbito, destaca-se o estudo realizado por Romcy (2017), com a proposição de diretrizes metodológicas para a implementação da modelagem paramétrica nas estruturas curriculares e nos ateliês de projeto de arquitetura e design. Nesse sentido, a autora apresenta em suas considerações finais a sugestão para trabalhos futuros que envolvam o desenvolvimento de estratégias pedagógicas para a implementação de modelos de desempenho.

Além disso, se faz necessário comentar a pesquisa apresentada por Fagundes (2019). Esse expõe uma experiência didática que repensa o processo de projeto por meio da implementação de sistemas generativos como forma de otimização para design de produto com uso de algoritmos evolutivos.

Ainda, ressalta-se que, com o distanciamento social instaurado devido a pandemia de COVID-19 desde 2020, há hoje uma nova demanda para repensar estruturas pedagógicas que contemplem o Ensino Remoto (ERE) principalmente no tocante às atividades que tradicionalmente transcorrem em atelier projetual.

## 1.6 METODOLOGIA

A abordagem dessa pesquisa é definida como qualitativa, de tal modo que seu enfoque é dado ao aprofundamento da compreensão de um fenômeno, com a construção de hipótese realizada e aprimorada a partir dos processos de coleta de dados, proporcionando profundidade as informações, riqueza interpretativa e contextualização ao cenário. (SAMPIERI; COLLADO; LUCIO, 2013; GERHARDT; SILVEIRA, 2009).

Quanto ao seu alcance, estabelece-se como uma pesquisa descritiva, definida por Sampieri, Collado e Lucio (2013) por considerar um fenômeno e seus componentes, em processos de verificação e avaliação de conceitos com o estabelecimento de variáveis. Por fim, determina-se quanto à sua natureza como uma pesquisa

aplicada, cujos conhecimentos são direcionados a soluções de problemas específicos (GERHARDT; SILVEIRA, 2009).

Para a orientação da estrutura essa pesquisa é dividida em quatro fases: 1) Compreensão do problema; 2) Desenvolvimento da Proposta; 3) Implementação e teste de funcionamento; 4) Reflexões para contribuições teórico-práticas.

### **1.6.1 Compreensão do problema**

Esta etapa se destina à revisão bibliográfica, com levantamento de autores seminais. No tocante às temáticas se estabeleceu como principais a morfogênese computacional e os modelos de desempenho. Contudo, concluiu-se que para uma abordagem coerente e aprofundada os temas deveriam ser ampliados para seu embasamento inicial, expandindo-se assim a revisão para o uso de inspirações biológicas, biomimética, design paramétrico, e pensamento computacional aplicado em projeto.

### **1.6.2 Desenvolvimento da proposta**

Nesta fase estão contempladas a análise dos conteúdos elencados durante a revisão sistemática e a seleção desses para elaboração das dinâmicas pedagógicas. Ainda, o mesmo processo é realizado para as ferramentas a serem utilizadas no processo de projeto e no ensino desse, sendo investigado os instrumentos a serem implementados com a adoção do ensino remoto.

Após a análise e seleção, foi realizada a elaboração da didática do experimento pedagógico, com o desenvolvimento dos modelos de referência e do material complementar que foram propostos e utilizados. Ainda, ocorre a elaboração dos questionários de análise que deverão ser respondidos pelos alunos para averiguar a aceitação e percepção desses da estratégia proposta.

### 1.6.3 Implementação e teste de funcionamento

Este estágio compreendeu o momento da implementação da proposta pedagógica. Essa ocorreu por meio da realização de um curso em uma ação de extensão direcionada a alunos de graduação, alunos da pós-graduação, professores e profissionais.

A ação de extensão foi cadastrada na Pró-Reitoria de Extensão da UFRGS sob o código de ação "45567" e título "Contribuições pedagógicas para o ensino da morfogenese computacional aplicada em projetos de design e arquitetura". Em caráter gratuito, foram ofertadas um total de quinze vagas para os alunos de graduação e outras quinze destinadas aos demais. Além disso, ficou estipulado que a amostra seria composta pelos alunos do curso que aceitarem participar da pesquisa por meio do Termo de Consentimento Livre e Esclarecido (TCLE). A divulgação da ação ocorreu por meio das redes sociais e das listas de emails das faculdades de arquitetura e urbanismo, design visual e design de produto, do programa de pós-graduação em Design (PGDesign).

O curso ocorreu ao longo de dez encontros de três horas cada, resultando em um total de 30 horas de duração. Nessa etapa ocorreu ainda a captação dos estudantes, a realização do curso, e a coleta de dados.

Além disso, essa atividade teve orçamento de R\$800,00 dedicado à aquisição da licença do software utilizado nas aulas, custo esse de responsabilidade dos pesquisadores.

**Quadro 1 - Orçamento**

<b>Material</b>	<b>Valor (R\$)</b>
Licença do software	800,00
<b>Total</b>	<b>800,00</b>

Para a coleta de dados foram utilizados três procedimentos: observação qualitativa, análise documental e aplicação de questionários (esses podem ser visualizados nos Anexos, A, B e C).

#### **1.6.4 Reflexões para contribuições teórico-práticas**

Este momento é voltado para a análise dos dados coletados, sendo esses as respostas dos questionários preenchidos, as observações percebidas ao longo das observações qualitativas, e a análise documental dos resultados alcançados pelos estudantes no desenvolvimento das atividades teórico-práticas e dos resultados obtidos com a elaboração dos modelos digitais.

O mesmo foi realizado por meio da análise de conteúdo, definido por Bardin (2011) como um conjunto de técnicas para exploração das comunicações que objetiva perceber a significação do conteúdo. Ainda de acordo com a autora, essa é realizada em três momentos: o primeiro de organização e coleta do material, o segundo para descrição analítica com categorização dos dados, e o terceiro para a interpretação referencial.

Após a realização das análises foram propostas diretrizes para a implementação dos conteúdos e das atividades pedagógicas.

## 2 REFERENCIAL TEÓRICO

Para a compreensão deste trabalho, foram abordadas as temáticas das teorias da natureza, dos sistemas complexos, o novo paradigma de projeto e a morfogênese computacional no intuito de fomentar a base teórica necessária para o desenvolvimento das experiências didáticas.

### 2.1 TEORIAS DA NATUREZA

O ato de aplicar soluções biológicas a problemas é uma recorrente ação do homem ao longo da história e atualmente pode ser observada em diversas áreas, como no Design, na Arquitetura, na Engenharia, na Medicina, entre outros (SOARES; ARRUDA, 2018). Seu uso implicou suscetíveis avanços tecnológicos, seja pela analogia direta de princípios, ou pelo uso indireto através de padrões e proporções.

Historicamente, podemos ressaltar o Parthenon de Atenas (HEMENWAY, 2005), o padrão de densidade da trama estrutural presente na torre eiffel (SOARES; ARRUDA, 2018) e as obras desenvolvidas pelo inventor Leonardo DaVinci, como a máquina voadora de bater asas, o Ornitóptero (SOARES; ARRUDA, 2018). Em um recorte mais recente, é possível constatar a invenção do Velcro obtida através da observação de plantas com sementes espinhosas, como o Capim-Carrapicho (*Cenchrus echinatus*); do maiô *Fastskin* da *Speedo* que faz analogia com o padrão morfológico presente na pele dos tubarões; e do trem-bala *Shinkansen* originado pelo estudo do processo de mergulho e da anatomia do bico de pássaros Martins-pescadores (*Kingfishers*)(RAMOS, 2018; SOARES; ARRUDA, 2018).

No escopo da arquitetura, é necessário evidenciar o famoso arquiteto norte-americano Frank Lloyd Wright, cuja obra é caracteristicamente marcada pela filosofia de simbiose com a natureza, a qual é denominada arquitetura orgânica (PFEIFFER, 2004). Lloyd defendia o retorno do olhar do projetista ao ambiente, enfatizando-o como objeto de estudo para origem de ideias. Ele argumentava que além da natureza já ter realizado todas as descobertas de soluções, essa poderia ainda ensinar sobre princípios de regência de ritmo e forma (HOFFMANN, 1995;

THORNE-THOMSEN, 2014). Ressalta-se que cerne desse pensamento é igualmente observado em filosofias contemporâneas de bio-inspirações.

Em outra abordagem, temos o arquiteto espanhol Antoni Gaudí, reconhecido comumente pelos projetos da Basílica Sagrada Família e da Casa Batlló, ambos localizados em Barcelona, além dos tradicionais mosaicos coloridos que recobrem suas obras. Contudo, apesar do grande destaque dado ao aspecto fluido e orgânico da morfologia de seus projetos largamente influenciados pela natureza, a expertise de Gaudí se destaca ainda mais pela perspicácia do arquiteto de simular como as forças da natureza, principalmente as físicas, reagiriam sobre a forma arquitetônica. Esse processo de simulação das forças naturais também é percebido na obra de Heinz Isler e de Frei Otto (LEACH, 2020; LEACH, 2009; ROUDAVSKI, 2009; OXMAN, 2012).

Nas últimas décadas, essa perspectiva de olhar para a natureza passou a ser sistematizada e formalizada, de tal modo que três técnicas de bio-inspirações aplicadas ao projeto se tornaram difundidas: a biônica, a biomimética e a morfogênese.

O termo biônica foi introduzido oficialmente em 1960 pelo engenheiro e major *Jack. E. Stelle*. Sua proposição é estudar e compreender sistemas vivos, como plantas e animais, para aplicação de seus princípios, técnicas e mecanismos em tecnologia e dispositivos variados (SOARES; ARRUDA, 2018). Dentro desse mesmo contexto.

O termo biomimética foi cunhado inicialmente em 1869 por *Otto Schmitt*, porém sua popularização ocorreu somente em 1997 através da cientista *Janine Benyus* (RAMOS, 2018). Esse pode ser definido como o estudo dos modelos da natureza para uma posterior imitação, buscando inspiração em seus sistemas e processos para solucionar problemas humanos (BENYUS, 2013). Em contrapartida, Leach (2009) delinea como o estudo do que podemos aprender replicando os mecanismos da natureza.

Diferentemente de outras técnicas, a biomimética é uma abordagem interdisciplinar, que visa emular o método projetual da natureza, reunindo áreas

tradicionalmente desconexas (SOARES; ARRUDA, 2018). Seu embasamento se dá pela tríade: a natureza como modelo (inspiração e mimese das soluções para aplicações práticas), como medida (com o uso do padrão ecológico como parâmetro para as inovações, tendo como base os resultados otimizados alcançados pela evolução) e como mentora (representa uma nova forma de ver e valorizar a natureza, com foco não no que se pode extrair da natureza, mas no que é possível aprender com ela) (BENYUS, 2013; SOARES; ARRUDA, 2018).

As primeiras repercussões concisas da teoria da morfogênese natural são oriundas dos estudos de D'Arcy Wentworth Thompson por meio da análise de geração de formas na natureza a partir de como as forças físicas influem na organização material ao longo de seu crescimento. Para Thompson(1942), a forma é consequência das forças físicas da natureza que atuam nessa e a essência para compreender o crescimento biológico estava na compreensão dessas forças. De acordo com Leach (2009), o termo morfogenesis foi inicialmente cunhado nas ciências biológicas, visando referenciar a lógica do processo de formação de padrões em organismos de acordo com seu crescimento e diferenciação.

## 2.2 SISTEMAS COMPLEXOS

De acordo com Mitchell (2009), um sistema complexo pode ser definido como um sistema no qual uma grande rede de componentes relativamente simplórios e sem um controle central, dão origem a um comportamento coletivo complexo a partir de regras de operações, com possíveis mecanismos de aprendizagem e de evolução. Uma vez que as propriedades apresentadas como um sistema (conjunto) diferem daquelas apresentadas pelos indivíduos (entidades), e que o todo é maior da soma das partes, o sistema é denominado emergente (BONABEAU, 2002). Além disso, uma vez que o conjunto não pode ser reduzido as propriedades de seus elementos, designando-se um sistema não-linear, torna-se difícil a previsão de seu comportamento. Ainda, sistemas nos quais um comportamento ordenado se manifesta sem interferências ou controles internos ou externos, ou sem a presença de um líder, são designados auto-organizados (MITCHELL, 2009).

Paralelamente, Johnson (2013) apresenta a definição como um sistema de múltiplos agentes, que interagem dinamicamente seguindo regras locais e não recebendo qualquer instrução de nível mais alto. Ainda, o sistema só pode ser denominado emergente quando suas respectivas interações ocasionam um macrocomportamento observável em um fenômeno adaptativo. Esses também podem ser denominados por sistemas “*Bottom-Up*”, visto que o padrão existente de comportamento surge a partir das propriedades dos indivíduos. Dentro deste âmbito, são exemplos dessas sistemáticas as colônias de formigas cortadeiras, o sistema imunológico, e o cérebro humano.

Comumente, os estudos de sistemas complexos recorrem às simulações computadorizadas para que seja possível reproduzir o comportamento a ser analisado visto que, diferentemente de sistema determinístico, não se é possível aplicar técnicas reducionistas de estudar as partes e então replicar seu funcionamento para o todo (HOLLAND, 2006). Nesse aspecto, uma forma de replicar tal atuação se dá por “*Agent-Based Modeling*” (ABM) (BONABEAU, 2002).

De acordo com Gilbert (2007), um ABM consiste em um grande número de agentes que seguem uma lista simples de regras locais e interagem com um ambiente específico. Já de acordo com Bonabeau (2002), de modo simplista pode ser considerado como uma coleção de entidades autônomas de tomadas de decisões denominadas “agentes” e das relações entre eles. Ainda de acordo com o autor, cada agente avalia individualmente uma situação e toma uma decisão tendo como base um conjunto de regras pré-programadas. Em consequência, essa interação individual entre os agentes resulta em fenômenos emergentes.

O desenvolvimento dos modelos ABM consiste na definição dos próprios agentes, como das relações entre eles (BONABEAU, 2002). Em consequência, o sistema passa a exibir, coletivamente, como resultado um padrão de comportamento, o que conduz ao surgimento de um comportamento global emergente de todo o sistema. Ressalta-se ainda que os agentes podem aprender com o contexto em que estão inseridos, e passam a compor um sistema que possui a habilidade de aprender e ajustar sua conduta com o passar do tempo a partir de uma série de regras flexíveis de comportamento (BAHARLOU; MENGES, 2013).

Os estudos dos sistemas complexos nos auxiliaram a compreender como as leis naturais determinam o desenvolvimento morfológico dos seres vivos e seus desenvolvimentos (CARVALHO, 2019), culminando nos estudos da morfogênese. De acordo com Thompson (1942) a forma é o resultado de um diagrama de forças físicas que atuam sobre ela. Somado a isso, Menges, Weinstock e Gensel (2010) apresentam que essas forças físicas são associadas a forças internas do sistema biológico, definindo escalas, limites espaciais e informação da geometria do desenvolvimento até a fase adulta do indivíduo.

Dentro desse escopo, destaca-se o surgimento de uma corrente de projeto denominada projeto morfogenético. De acordo com Menges (2008) e Carvalho (2019), A codificação da lógica, estrutura, comportamento e dos princípios da morfogênese natural. Envolve o uso de procedimentos bottom-up (computacional) e top-down (digital) para a transformação de dados com intuito de possibilitar a emergência de formas como resultado de simulações e análises de desempenho.

### 2.3 O NOVO PARADIGMA DE PROJETO

Oxman (2008) apresenta um panorama de como a lógica de pensamento projetual tem, nas últimas décadas, sido foco de constante interesse acadêmico. Nesse, a autora evidencia que, esses estudos buscavam compreender o que transcorria dentro da cabeça do projetista, em uma perspectiva onde autores como Donald Schön (1983) foram pioneiros. Nesse contexto, ela propõe que, geralmente, os estudos estavam relacionados à prática projetual tendo o papel como mídia projetual para exploração e concepção de propostas, em uma atividade denominada "reflexão em ação". Ainda, sintetiza-se que o processo projetual é segmentado em três grandes estágios, recepção (percepção), reflexão (interpretação), e reação (transformação). Contudo, o ato projetual está intrinsecamente relacionado aos avanços tecnológicos, de modo que estes influenciam, diretamente, desde o modo de representar, até processos de fabricação e materiologia.

Nesse aspecto, os avanços na computação gradualmente modificaram o fazer projetual. Iniciativas como os *paperless studios* desenvolvidos por Bernard

Tschumi (NORMAN, 2001) na Universidade de Columbia, passaram a compreender um fazer projetual que não estava mais associado apenas ao papel, mas se relacionava diretamente com outras mídias práticas e digitais, com a confecção de maquetes e modelos virtuais. Todavia, Oxman (2009) aponta que os primeiros estágios da informática aplicada a projeto não apresentavam mudanças significativas ao longo do processo e da lógica projetual, pois a tecnologia CAD<sup>1</sup> muito se assemelha ao processo realizado no papel. De acordo com a autora, esse panorama sofreu mudanças decorrentes da emergência de novas tecnologias, o que pode ser demonstrado com projetos como o Guggenheim Museum Bilbao, desenvolvido pelo arquiteto Frank Gehry. Define-se que essa obra foi o estímulo mais relevante em direção a necessidade de novas teorias de projeto, materialização e fabricação, potencializando a percepção do computador como uma extensão do ato de projetar, e não mera ferramenta representacional (OXMAN, 2008).

Essas percepções podem ser vistas também na mudança de pensamento projetual quanto a orientação de desenvolvimento, com duas lógicas de construção sendo estabelecidas, *form-making*, destinado ao processo de desenvolvimento do objeto a partir de uma ideia pré definida de projeto; e *form-finding*, no qual o resultado do projeto emerge por meio de relações estabelecidas entre os dados, podendo recorrer ainda a procedimentos de simulações para otimização. De tal modo, passamos a ter que o papel do projetista passa a ser, principalmente, o de correlacionar informações (TEDESCHI, 2014; LEACH, 2009).

As observações de Oxman (2008) são orientadas a uma mudança quando as propostas pedagógicas de ensino do projeto digital, numa abordagem em que a autora propõe três tipos de modelos digitais: formativos, generativos e performativos.

Modelos formativos são voltados para variações topológicas por meio da alternância de parâmetros, em um processo de *form-making*, no qual o design paramétrico é destaque. Modelos generativos são caracterizados pelos mecanismos computacionais de processo generativo, onde o projeto é uma consequência de uma

---

<sup>1</sup> CAD é definido como Computer-Aided Design, que possui tradução direta em Desenho, ou projeto, assistido por computador.

série de regras, relações e princípios, em um processo de *form-finding*. Em suma, podemos dizer que o resultado é consequência das relações estabelecidas. Nesse, destacam-se os modelos evolutivos e a gramática da forma. Modelos performativos ocorrem por meio de processos de simulação para análise, otimização e avaliação via ferramentas digitais, possibilitando a geração e modificação do modelos durante seu desenvolvimento para a escolha de uma instância aperfeiçoada dentro da gama de resultados obtidos (OXMAN, 2008; OXMAN; OXMAN 2014 ).

No tocante aos modelos performativos, Oxman (2008) estabelece ainda um entendimento de princípios organizacionais e de sistemas com comportamentos específicos. Com tal, o resultado emerge do processo de busca pela solução de desempenho ideal, frequentemente recorrendo a processos não convencionais, como a auto-organização. (BOLLINGER; GROHMANN, 2004). Nesse aspecto, Leach (2009) nos apresenta uma mudança de paradigma para uma visão objetivista de eficiência, na qual o uso competente de recursos é priorizado sobrepondo a estética, prevalecendo a otimização de atributos, como estruturais, construtivos, econômicos e ambientais. Essa mudança é fomentada pela recorrência das informações dos sistemas naturais, valendo-se do que compreendemos como a função memória desses, como forma encontrar alternativas de processos otimizados, no que o autor denomina morfogêneses digital.

De acordo com Leach (2009) a aplicação da morfogênese em projetos, modifica a ação do projetista para uma posição de controle de processos, e favorece o surgimento de processos de *form-finding* com comportamento *bottom-up*, isso é, um processo no qual o comportamento do todo, é diferente do das partes e obtido pela interação entre essas. Semelhantemente, Oxman e Oxman (2014) definem que no projeto morfogenético, a simulação do comportamento dos materiais nos devidos contextos ambientes, possibilita o projeto como um sistema complexo adaptativo. Essa abordagem possibilita uma geração orgânica de estruturas, principalmente quando aplicada a compreensão do comportamento dos materiais, de tal forma que Leach (2009) apresenta que o desempenho do material sobrepõem a aparência, e o processo passa a estar acima da representação, em uma mudança que colabora para a preservação dos recursos naturais.

Contudo, Menges (2007) contesta a condição da morfogênese digital, apontando que essa está também vinculada a abordagens top-down e tem seu foco destinado a otimização geométrica, com pouca ou nenhuma exploração material e construtiva. Em contrapartida, a morfogênese computacional está relacionadas a abordagens bottom-up e se apresenta como um processo de codificação da lógica, da estrutura e do comportamento da natureza com a priorização do material e de suas propriedades físicas, processos de fabricação, desempenho estrutural, além de abordar o uso do crescimento e desenvolvimento evolutivo (MENGES, 2007). Carvalho (2019) define que essa é a adoção de métodos computacionais de representação orientados pelo morfogênese natural, envolvendo desenvolvimento formal e tectônico por meio da associação de propriedades materiais, limitações de recursos, avaliação de desempenho ambiental e estrutural

Leach (2020) reafirma essa mudança de paradigma do processo de projetual, traçando paralelos com as propostas filosóficas de Manuel DeLanda e Gilles Deleuze. O autor afirma uma convergência de um pensamento top-down, hilemórfico e com foco na representação, para um com ênfase no processo com lógica bottom-up a partir de mecanismos morfogenéticos.

Nessa perspectiva, DeLanda (2004) apresenta a necessidade do retorno ao olhar quanto às qualidades da matéria e da energia para a auto organização, pois os estudos dos sistemas complexos estão tornando possível compreender que qualquer um desses, seja um composto de moléculas, uma criatura orgânica, ou agentes econômicos, é dotado da capacidade de gerar ordem de forma espontânea, e se organizar ativamente em novas estruturas e formas. Ainda, DeLanda (2000), constata em uma metáfora, no que diz respeito ao aspecto do fluxo de energia, que a sociedade se aproxima dos fluxos de lava, enquanto as estruturas criadas pelo homem possuem o comportamento próximo ao de montanhas e rochas, são acumulações de materiais endurecidos e moldados por processos históricos. Nesse sentido, ambos os subprodutos possuem os mesmos componentes, porém as variações na velocidade do fluxo causam alterações em seu resultado, e o estudo desse comportamento é definido por Leach (2020) como Matéria Ativa.

### 3 RESULTADOS

Nesta seção estão representados os resultados gerais da pesquisa, com a apresentação detalhada da metodologia proposta, sua aplicação em um curso de extensão e a análise dos resultados percebidos.

#### 3.1. CONTEXTO GERAL

A estratégia de ensino foi elaborada com base em três pilares: a apresentação gradual do conteúdo (ROMCY, 2017), o uso de exercícios práticos como suporte didático para compreensão das lógicas implementadas, e, por fim, a utilização e ensino de conceitos da biomimética como meio de introduzir e definir os modelos generativos e de desempenho.

Foi realizada uma análise no escopo dos conteúdos levantados durante a revisão bibliográfica. Com essa, foram mapeadas as principais competências e os principais domínios de conhecimento a serem explicitados e ensinados durante a didática, sendo esses:

- A biomimética enquanto estratégia de projeto;
- A evolução do projeto devido aos avanços da computação;
- Os tipos de modelo de projeto digital, definidos por Oxman (2008);
- O pensamento algorítmico e sua aplicação em projeto;
- O funcionamento dos softwares de projeto paramétrico;
- A lógica projetual para o desenvolvimento de projetos em modelos generativos e de desempenho;
- Os princípios de algoritmos evolutivos, sua implementação em software e suas correlações com a teoria da evolução;
- Os fundamentos dos modelos de desempenho e como aplicá-los dentro dos softwares de desenho paramétrico;
- Os princípios da otimização e sua ligação com a natureza;
- A elaboração de um projeto morfogenético digital.

Para os respectivos conteúdos apresentados, definiu-se um carga horária de 30 horas, divididas em 10 dias de aula. Esses foram divididos em dois momentos, o primeiro destinado a fundamentação e embasamento do projeto algorítmico, enquanto o segundo se voltava para o aprofundamento dos conteúdos de otimização e desempenho visando a morfogênese digital. Assim, estabeleceu-se o cronograma abaixo para a didática:

**Quadro 1 - Panorama geral das do conteúdo do curso**

<b>Aula</b>	<b>Descrição resumida do conteúdo abordado</b>
Aula 1	Relação entre projeto e natureza. Uso de bio-inspirações em projeto.
Aula 2	Projeto morfogenético e o design algorítmico.
Aula 3	Introdução a modelagem paramétrica e a lógica do projeto algorítmico.
Aula 4	Aprofundamento na modelagem paramétrica.
Aula 5	Aprofundamento na modelagem paramétrica.
Aula 6	Elaboração inicial do algoritmo do exercício final.
Aula 7	Análise estrutural com o Karamba 3D e princípios de otimização.
Aula 8	Algoritmos evolutivos e sua implementação no Grasshopper.
Aula 9	Implementação de algoritmos evolutivos para otimização estrutural
Aula 10	Exercício projetual na dimensão conceitual para sistematização de todos os conteúdos apresentados no curso.

### 3.2 SOBRE AS AULAS

As aulas ocorreram por meio do curso de extensão denominado “Estratégias de otimização orientadas pela natureza em projetos de Design e de Arquitetura”,

durante 10 dias úteis corridos. O projeto foi registrado na Plataforma Brasil sob o nome “Contribuições Pedagógicas Para O Ensino Da Morfogênese Computacional Aplicada Em Projetos De Design E Arquitetura”, com data de aprovação ética do CEP/CONEP em 25/06/2021, sob o registro CAAE 47207621.9.0000.5347, conforme o documento comprobatório do anexo D.

Todas as aulas foram ministradas no sistema de ensino remoto por meio do programa Microsoft Teams. As atividades teóricas fizeram uso de slides como recurso didático e os mesmos estão disponíveis para download pelos QR codes presentes no anexo F. Além disso, todas as atividades práticas tipicamente práticas foram realizadas dentro do programa Miro destinado para replicar as interações desenvolvidas em encontros presenciais. Já no tocante às atividades computacionais foi definido a interface do Grasshopper, um plugin do programa Rhinoceros 3D, para ser o espaço de desenvolvimento das atividades.

Ao final de cada aula, os participantes do curso eram encorajados a avaliarem todo o conteúdo apresentado, dividindo em três instâncias, aulas teóricas, práticas analógico-digital(desenvolvidas no Miro) e práticas computacionais (desenvolvidas no Grasshopper. Ao total foram feitas 157 avaliações diárias das aulas implementadas, e nessas, os alunos avaliaram a aula teórica e os exercícios realizados com pontuação de 0 a 10, considerando que 0 como "não havendo contribuição" e 10 como "contribuição fundamental". A seguir, todas as aulas implementadas no curso são descritas e seus resultados individuais são discutidos.

### 3.3 DOS PARTICIPANTES

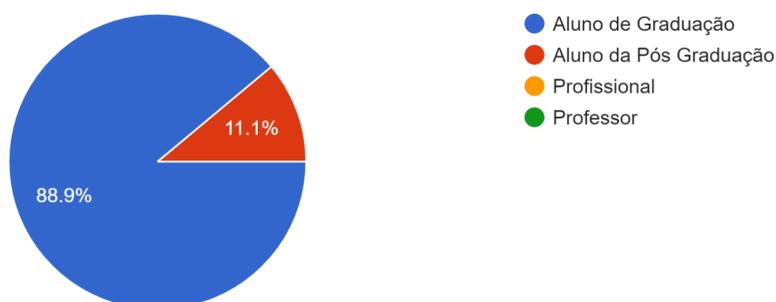
A metodologia foi aplicada com 22<sup>2</sup> estudantes, dos quais 18 concordaram em participar da pesquisa e assinaram o termo de consentimento livre esclarecido presente no anexo E. Esses, em sua maioria, eram alunos de graduação do curso de Arquitetura e Urbanismo da UFRGS (FIGURA 1). Apenas três participantes do curso

---

<sup>2</sup> É necessário salientar que o número de participantes é baixo para a realização de conclusões estatísticas precisas.

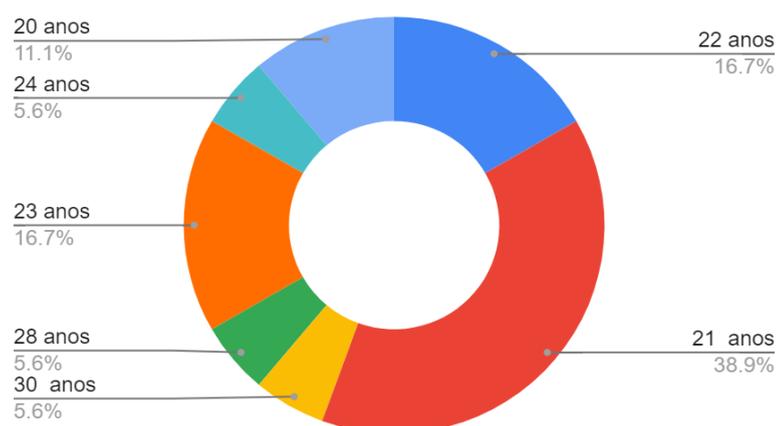
se identificaram como de outra universidade. Ressalta-se que 11,1% dos alunos do curso eram alunos de pós-graduação.

**Figura 1 - Gráfico de perfil dos participantes do curso**



89% dos participantes possuíam menos de 25 anos de idade, sendo o maior percentual representado por estudantes de 21 anos de idade. Os demais percentuais podem ser vistos na figura 2.

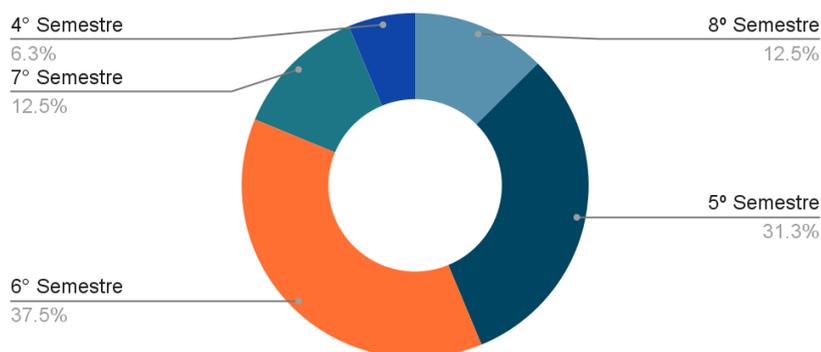
**Figura 2 - Gráfico apresentando a idade dos participantes do curso**



Quanto aos estudantes de graduação, 68,8% estavam alocados entre o cinco e sexto períodos do curso, enquanto 25% estavam entre o sétimo e oitavo

semestre (FIGURA 3). Desses, 93.8% eram alunos da Universidade Federal do Rio Grande do Sul, enquanto apenas um estudante era de outra instituição, neste caso da Universidade Federal do Ceará.

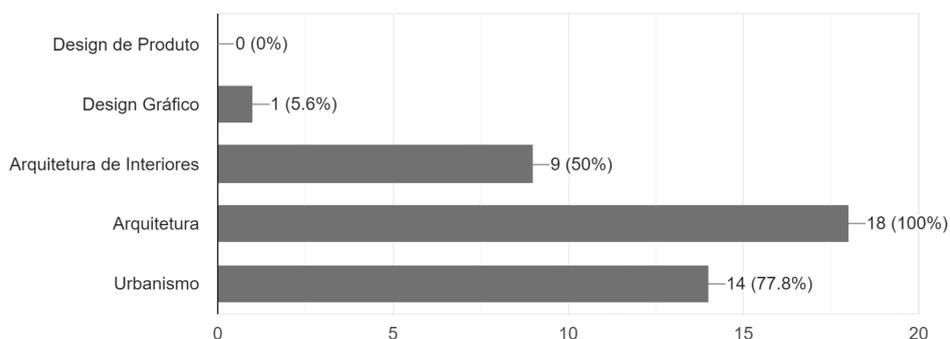
**Figura 3 - Gráfico com os semestres dos alunos de graduação**



Os alunos de pós-graduação que concordaram em participar da pesquisa se identificaram todos como estudantes do Programa de pós-graduação em Arquitetura (PROPAR) da Universidade Federal do Rio Grande do Sul.

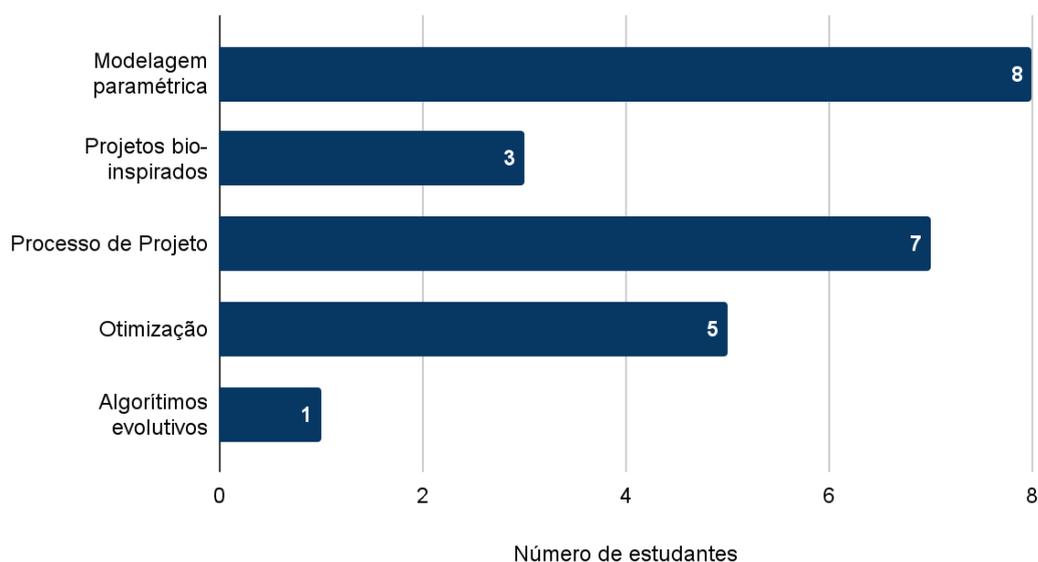
Com relação às áreas de estudos, em sua maioria os alunos estavam relacionados às temáticas da arquitetura e urbanismo, e ressalta-se que nenhum dos estudantes se correlacionou com o design de produto, como pode ser visto na figura 4 abaixo.

**Figura 4 - Gráfico demonstrativo das temáticas de interesse dos alunos**



Durante a análise do perfil dos estudantes, foi questionado quais eram suas expectativas para com o curso. A pergunta foi realizada de forma aberta e posteriormente analisada de modo a gerar o gráfico presente na figura 5 abaixo. De modo geral, a principal expectativa dos discentes estava relacionada ao conteúdo de modelagem paramétrica e a implementação de novos processos de projetos.

**Figura 5 - Expectativas de conhecimentos a serem adquiridos no curso**



Contrário ao que era esperado, a temática de projetos bio-inspirados apresentou um dos menores interesses demonstrado pelos estudantes, seguido dos algoritmos evolutivos. As respostas a esse questionamento podem ser vistas de maneira integral no anexo G.

Foi questionada também a percepção dos discentes quanto ao processo de otimização. De modo geral, as respostas estavam dentro do escopo que o termo compreende, destacando-se as respostas que definiam o termo como busca pela eficiência. Contudo, houve também uma quantidade de explicações que estavam

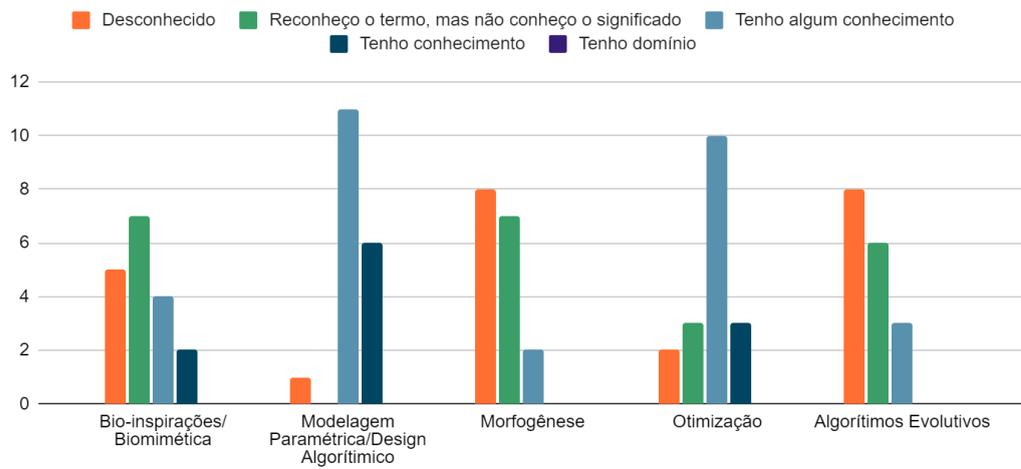
associadas à noção de diminuição de tempo gasto para executar uma respectiva tarefa. Todas as respostas podem ser visualizadas em detalhes no anexo G.

Quanto à avaliação dos processos de projetos dos participantes, salienta-se que não houve nenhuma menção a programas de modelagem paramétrica, otimização ou mesmo processos bio-inspirados. Igualmente, as respostas completas estão presentes no anexo G.

Por fim, os participantes foram encorajados a autoavaliar seus conhecimentos nos respectivos temas: bio-inspirações/biomimética, modelagem paramétrica/design algorítmico, morfogênese, otimização e algoritmos evolutivos (FIGURA 6). Os estudantes poderiam classificar sua aproximação com os temas em 5 níveis: desconhecido; reconheço o tema, mas não sei o que significa; tenho algum conhecimento; Tenho conhecimento; e tenho domínio. De modo geral, nenhum participante indicou ter domínio sob qualquer um dos temas abordados. As temáticas da morfogênese e dos algoritmos evolutivos se apresentaram como as mais desconhecidas pelos discentes, enquanto a modelagem paramétrica/design algorítmico era o conteúdo com maior percentual de conhecimento. Esse fato pode justificar a expectativa anteriormente mostrada pelos estudantes sobre o tema da modelagem paramétrica. Infere-se que os participantes já possuíam um conhecimento prévio na temática e visualizaram o curso como uma oportunidade de aprofundá-lo, mesmo que o tópico principal de divulgação tenha sido com base nas temáticas da otimização e da morfogênese.

A otimização também mostrou ser um tópico em que os participantes possuíam conhecimento prévio, sendo o segundo tema com a maior incidência de respostas “Tenho conhecimento” e “Tenho algum conhecimento”. O tema das bio-inspirações/Biomimética foi o tópico que apresentou menor discrepância entre os valores indicados pelos participantes (Figura 7). Foi a temática, em conjunto com a morfogênese, com maior incidência de respostas “Reconheço o termo, mas não conheço o significado”, o que corrobora com o fato apresentado por Carvalho (2019) sobre a dificuldade de definição conceitual dentro da temática.

**Figura 6 - Escala de classificação de proximidade dos alunos com os temas**

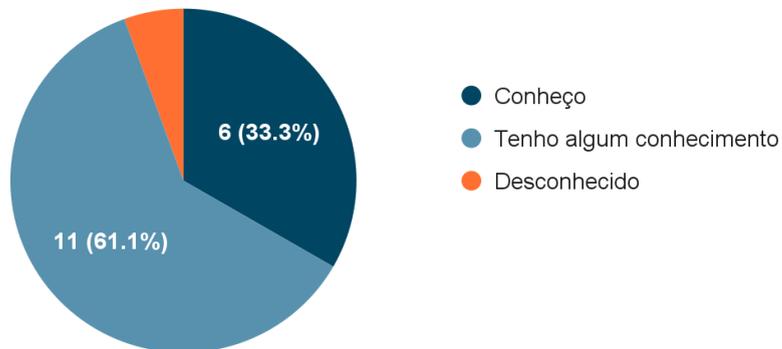


**Figura 7 - Classificação de conhecimento dos participantes quanto ao tema Bio-inspirações/Biomimética**



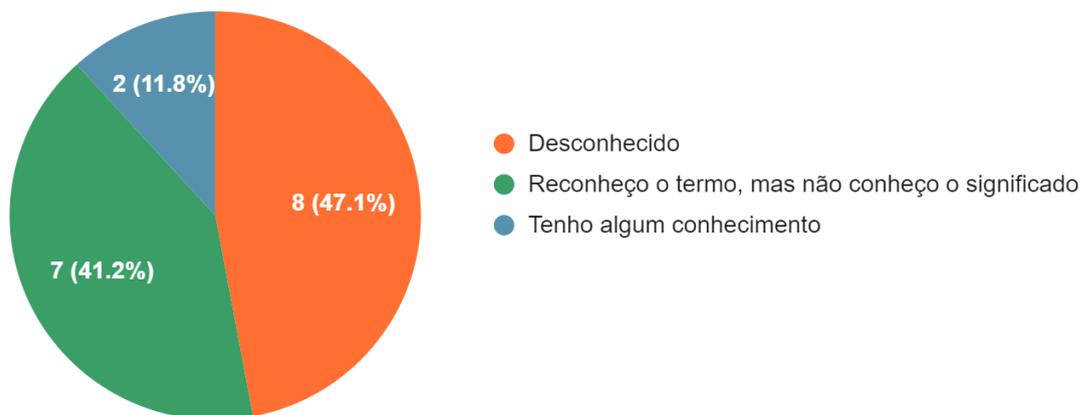
Como apresentado anteriormente, o tema da modelagem paramétrica/design algorítmico foi o que apresentou maior níveis de conhecimento pelos participantes. Foi, também, o único tema que não apresentou nenhuma resposta para “Reconheço o termo, mas não conheço o significado”, e apenas 1 participante o desconhecia completamente (Figura 8). Ainda assim, nenhum aluno indicou nível de domínio no tópico em questão.

**Figura 8 - Classificação de conhecimento dos participantes quanto ao tema Modelagem Paramétrica/Design Algorítmico**



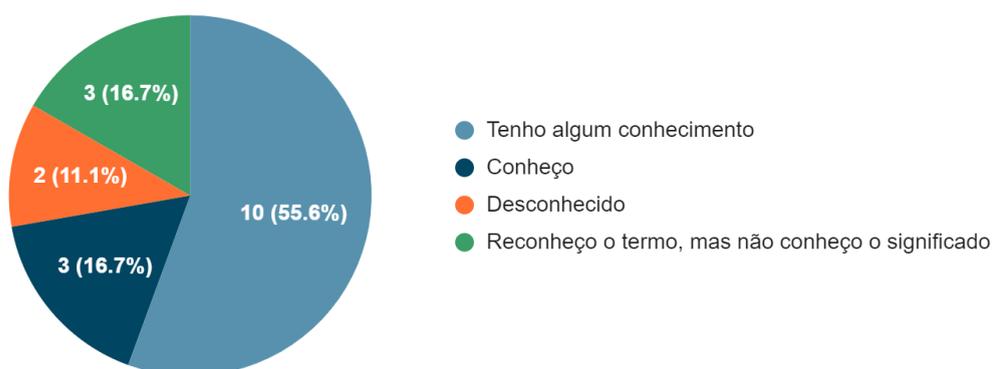
Já no que diz respeito ao tema da morfogênese, nenhum dos estudantes demonstrou ter conhecimento amplo sobre e apenas dois indicaram ter algum conhecimento prévio (FIGURA 9) . Em contrapartida, o assunto apresentou, junto com a bio-inspirações/biomimética, o maior índice de reconhecimento sem compreensão do significado. Ressalta-se que as duas temáticas são correlacionadas, então é compreensível que os valores sejam aproximados.

**Figura 9 - Classificação de conhecimento dos participantes quanto ao tema Morfogênese**



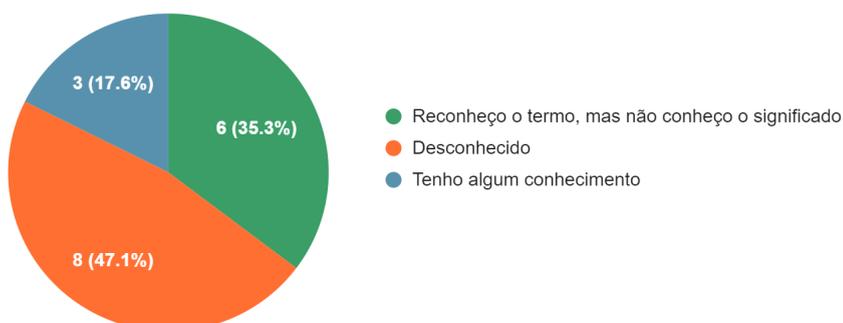
Já o tópico da otimização foi o segundo com a maior taxa de frequência de conhecimento (parcial e total) pelos participantes. Esse fato é reafirmado quando comparamos os percentuais das respostas qualitativas apresentadas no anexo X, nas quais as explicações dos estudantes para o tema eram condizentes com sua conceitualização. Ao todo, apenas 27,8% dos alunos não possuíam algum nível de compreensão da temática (FIGURA 10).

**Figura 10 - Classificação de conhecimento dos participantes quanto ao tema Otimização**



A temática dos algoritmos evolutivos foi a única a não apresentou nenhuma frequência de respostas para “tenho conhecimento”, e as maiores incidências desconhecimento (FIGURA 11). Vale ressaltar que no mapeamento de interesse pelos assuntos, o respectivo tópico recebeu a menor taxa.

**Figura 11- Classificação de conhecimento dos participantes quanto ao tema Otimização**



### 3.3.1 Aula 1

A primeira aula destinou-se a realizar uma introdução sobre os projetos orientados pela natureza e foi segmentada em três etapas. O momento inicial tratou da recepção dos alunos. Foi dado algum tempo para apresentações, seguido por uma introdução aos temas teóricos abordados. Nesse primeiro momento eles foram divididos em 5 grupos, nos quais se organizaram preferencialmente ao longo de todo o workshop, exceto caso necessário a fim de evitar grupos de duas ou menos pessoas. Foi passada uma atividade de mapa mental sobre três tópicos: projetos na natureza, natureza e natureza em projeto. Os detalhes da atividade podem ser vistos no quadro 2. Eles escolhiam palavras, imagens, toda sorte de referências com relação aos projetos, e essa atividade tinha como principal função a de começar a instigá-los a pensar de forma diferente sobre a Natureza, de como a podemos nos adaptar, assim como a função de aferir qual repertório esses alunos traziam consigo de referências de natureza e de aproximar os mesmos da ferramenta do Miro.

**Quadro 2 - Explicação da atividade prática 1 da aula 1**

Nome da atividade:	Aula 1- Atividade 1: Mapa Mental
Propósito	Incentivar uma reflexão inicial entre os alunos sobre o uso da natureza como inspiração de projeto e coletar informações sobre os repertórios individuais de cada um de projeto. Além disso, o exercício se intencionava a aproximação entre os alunos dos grupos e com a ferramenta de colaboração “Miro”.
Descrição da atividade:	Crie um mapa mental que responda às três perguntas: <ul style="list-style-type: none"><li>• O que é Natureza para você?</li><li>• Como você percebe o projeto na natureza?</li><li>• Como você percebe a natureza sendo utilizada em projetos?</li></ul> Utilize de palavras, imagens, cores, texturas, para representar a sua resposta.

	<p>Procure criar relações entre os elementos, expressando essas por meio de ligações em linhas entre os mesmos.</p> <p>A atividade deverá ser realizada em equipes de 4 a 5 participantes em até 30 minutos.</p>
--	--

Depois disso foi feita a aula teórica, uma aula com duração em torno de 40 minutos, em que foi construído um pensamento sobre o cerne da Natureza em projeto, bem como realizado uma apresentação de alguns dos principais projetos que já utilizaram o técnica no passado, os principais conceitos dos projetos orientados pela natureza, que tradicionalmente possuem uma definição turva entre si. Buscamos esclarecer a diferenciação entre esses conceitos e explorar com eles os mais recentes, que quebram o paradigma do que é utilizar a Natureza em projeto. Todo o conteúdo apresentado na aula pode ser visto no quadro 3 e a aula pode ser acessada pelo QR Code presente no anexo F

### Quadro 3 - Explicação do conteúdo teórico de biomimética

Nome da aula:	Biomimética
Descritivo:	Aula para apresentar os principais conceitos do projeto orientado pela natureza, contendo uma rápida contextualização e apresentação de exemplos.
Conteúdos abordados:	<ul style="list-style-type: none"> <li>● Panorama histórico do projeto orientado pela natureza</li> <li>● Exemplificações históricas com projetos de Frank Lloyd Wright, Antoni Gaudi, ICD/ITKE, entre outros.</li> <li>● Conceituação sobre biotécnica, biônica, biomimética e Biomimicry e suas respectivas diferenciações.</li> <li>● Apresentação de que o projeto orientado pela natureza pode se originar a partir de um inspiração da natureza ou de um</li> </ul>

	<p>problema da sociedade.</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Apresentação dos repositórios: “Ask Nature” e “Biomimicry 3.8”.</li> </ul>
--	---

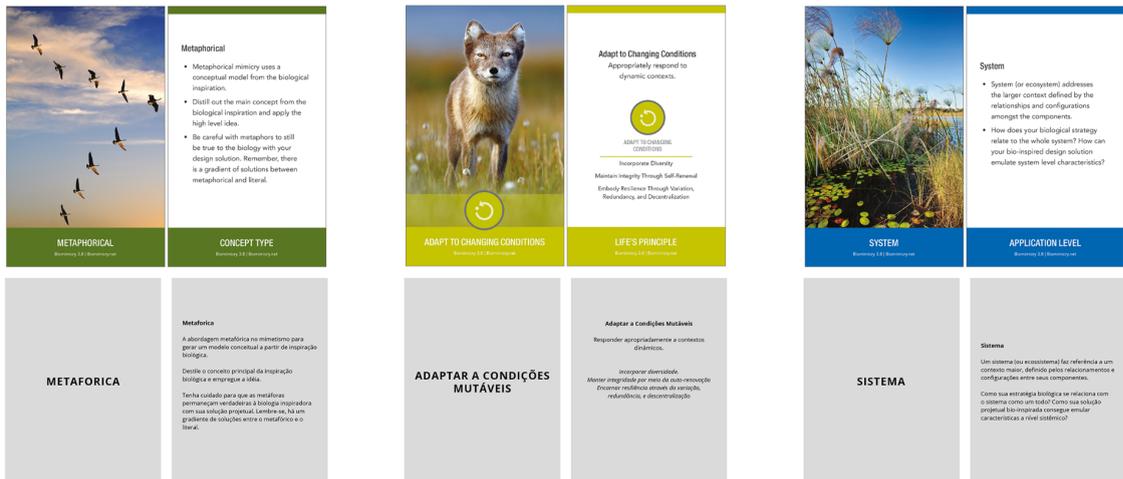
Em seguida, em exercício prático (QUADRO 4), eles tiveram contato com o baralho “Biomimicry Innovation Toolkit”, desenvolvido pelo Biomimicry 3.8 e traduzido para o curso. A tradução e diagramação das cartas ocorreu de modo a manter o design original, trazendo o texto em português apenas como um auxílio, como pode ser visto na figura 12. Os estudantes foram desafiados a propor três concepções projetuais, utilizando como base três tecnologias da natureza presentes no baralho.

#### Quadro 4 - Explicação da atividade prática 2 da aula 1

<b>Nome da atividade:</b>	<b>Aula 1- Atividade 2: Exercício de concepção projetual orientada pela natureza</b>
Propósito	A atividade teve como objetivo guiar os estudantes em um primeiro exercício projetual orientado pela natureza. Cada grupo de discentes recebeu 3 cartas distintas de inspirações de princípios da natureza. As cartas originais do exercício se encontram apenas disponíveis em inglês, por isso, foram traduzidas.
Descrição da atividade::	<p>Com base no toolkit de inovação desenvolvido pelo Instituto Biomimicry 3.8, desenvolva conceitos partindo de um dos princípios da natureza (tecnologias da natureza) apresentados pela ferramenta.</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Escolha uma das inspirações e discuta sobre ela com seus colegas. Pense como essa inspiração pode colaborar para solucionar um problema do seu convívio ou profissão.</li> <li>• Designe uma escala, sistema e tipo de conceito para facilitar no seu processo de desenvolvimento.</li> </ul>

	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Utilize o último quadro, cinza, para esboçar a sua ideia.</li> <li>• Se desejar, associe uma das áreas/demandas e um dos princípios da vida apresentados na ferramenta.</li> </ul> <p>A atividade deverá ser realizada em equipes de 4 a 5 participantes em até 60 minutos.</p>
--	--

**Figura 12 - Exemplo das cartas do baralho do instituto Biomimicry 3.8 que foram traduzidas e utilizadas na aula**



As cartas de tecnologia da natureza da natureza foram divididas entre as equipes de modo que cada grupo possuísse um conjunto distinto de habilidades. Além disso, eles possuíam outros seis segmentos do baralho (descritos em detalhe no quadro 5) e um canvas a ser preenchido como suporte para o desenvolvimento das propostas. Ao final da atividade, os alunos apresentaram para toda a turma as ideias de projeto que haviam sido desenvolvidas.

**Quadro 5 - Descritivo de todos os conjuntos de cartas presente no baralho Biomimicry Innovation Toolkit**

<b>Categoria</b>	<b>Texto explicativo</b>
Tecnologias da natureza	Conjunto de 15 cartas contendo tecnologias da natureza contidas em diferentes ecossistemas, como em plantas, animais, fungos e bactérias.
Escala	Refere-se a escala de aplicação da tecnologia da natureza, contendo as segmentações: micro, meso e macro.
Nível de aplicação	Aborda o meio pelo qual a tecnologia será aplicada, sendo possível a aplicação na forma, no processo e enquanto sistema.
Tipo de conceito	Refere-se a abordagem que será realizada na tecnologia, podendo ser literal ou metafórica.
Área/Demanda	O baralho foi criado, inicialmente, para a proposição de projetos no segmento de embalagem. Assim, esse conjunto de cartas apresenta as principais demandas atuais do setor.
Princípio da Vida	As cartas apresentam os seis principais princípios da vida elencados pelo Institute Biomimicry 3.8, como a habilidade de se adaptar a condições mutáveis e a eficiência na gestão de recursos.
Exemplos	São cartas destinadas a apresentação de projetos que façam uso de tecnologias da natureza para serem utilizados como inspirações.

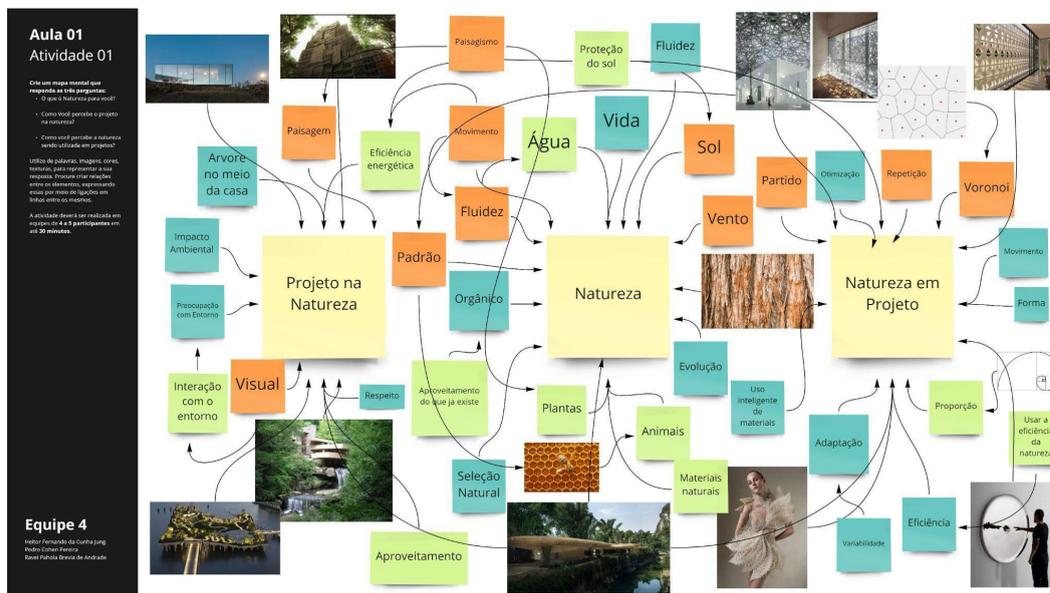
**3.3.1.1 Resultados da aula 1**

A atividade 1, por se tratar de uma atividade exploratória, não possuía uma definição de resultado correto. Tendo isso em conta, os alunos apresentaram um bom desenvolvimento dos mapas mentais. Destaca-se a presença de exemplos que

estariam presentes em aulas posteriores do curso e a aparição de padrões da natureza, como o Voronoi (FIGURA 13 e 14). Os alunos apresentaram maior dificuldade em compreender o conceito de “projeto na natureza”, trazendo exemplificações de projetos, em sua maioria arquitetônicos, inseridos em espaços verdes. O tópico foi propositalmente colocado para gerar dúvida e provocar quanto ao potencial orgânico da natureza de se autoprojetar para se adaptar ao meio ambiente.

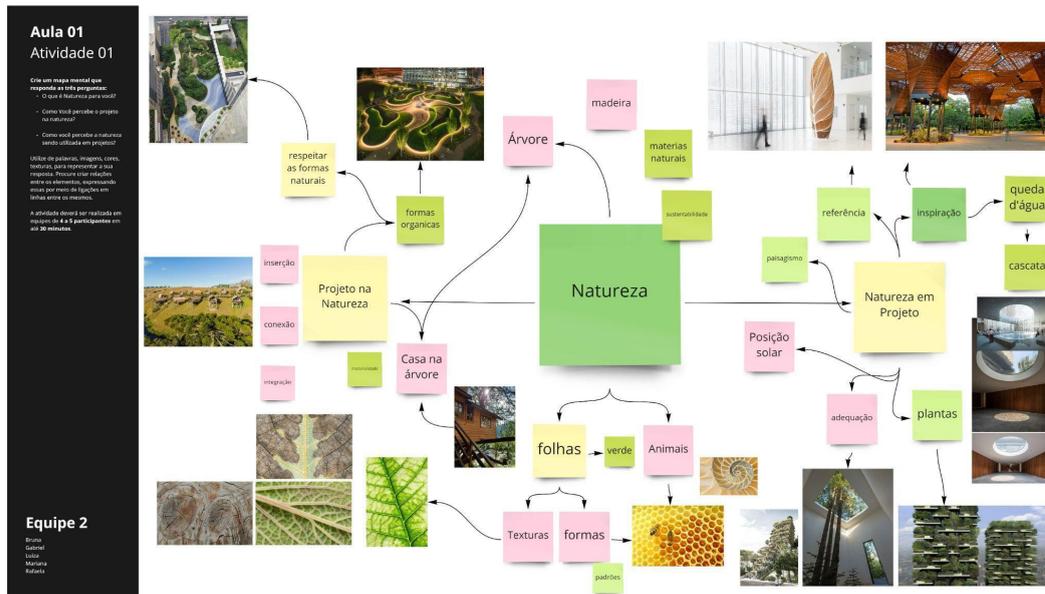
Na segunda atividade realizada todos os alunos apresentaram um bom desenvolvimento de conceito. De modo geral, os grupos desenvolveram projetos nas escalas do objeto, da edificação e da cidade. Além disso, foi percebido que a maioria das proposições se apropriou da inspiração da natureza de forma metafórica. Ressalta-se que muitas das concepções apresentavam conceitos de otimização, destacando-se o aperfeiçoamento de materiais e a melhoria do conforto ambiental (FIGURA 15 e 16).

**Figura 13 - Resultado da atividade prática 1 da aula 1**



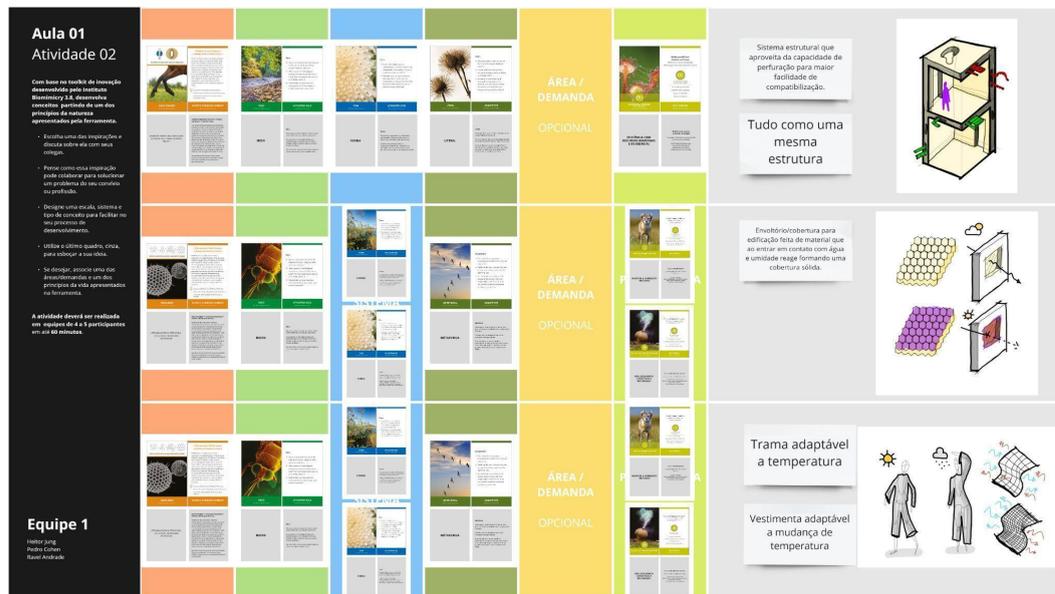
Fonte: Heitor Fernando da Cunha Jung, Pedro Cohen Pereira e Ravel Pahola Brevia de Andrade (2021)

**Figura 14 - Resultado da atividade prática 1 da aula 1**



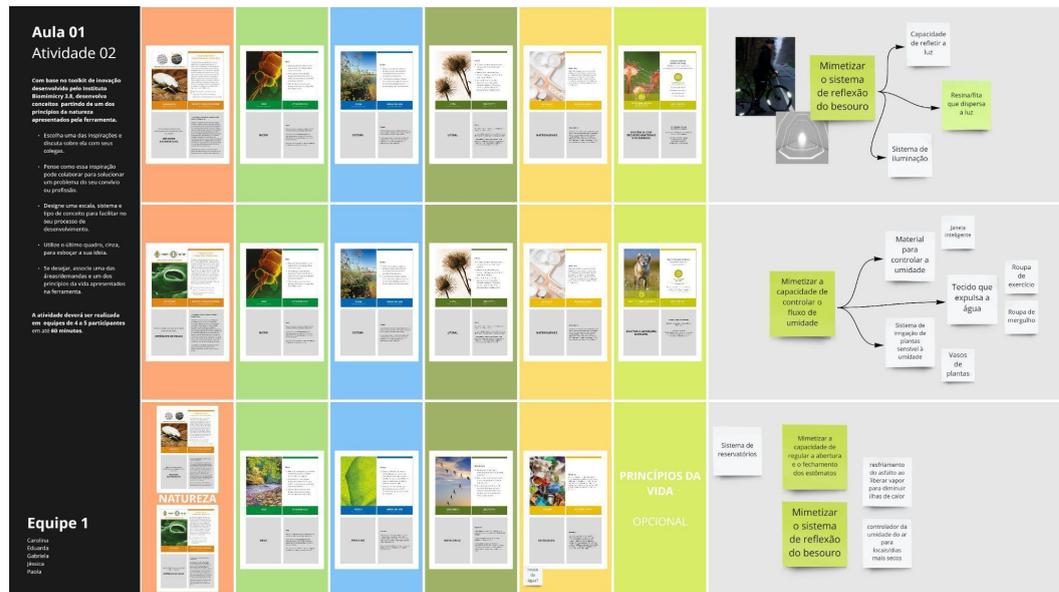
Fonte: Bruna Nogueira Cançado, Gabriel Kacperski Marques, Luiza Coimbra Alfonso, Mariana Severo Soares Duarte e Rafaela Rosa Belloto (2021)

**Figura 15 - Resultado da atividade prática 2 da aula 1**



Fonte: Heitor Fernando da Cunha Jung, Pedro Cohen Pereira e Ravel Pahola Brevia de Andrade (2021)

**Figura 16 - Resultado da atividade prática 2 da aula 1**



Fonte: Carolina Silveira Mattiello, Eduarda Almeida Bittencourt, Jéssica Gomes da Rosa, Gabriela de Souza e Paola Osterkamp (2021).

### 3.3.1.2 Avaliação dos alunos da aula 1

No tocante às avaliações, os alunos avaliaram a aula teórica apresentada sobre a biomimética com nota 9.22, enquanto as atividades práticas receberam o valor de 9.29. Entre os comentários dos estudantes, houveram relatos de dificuldades iniciais quanto a quebra na mudança de pensamento projetual, contudo, a aula recebeu uma resposta positiva. Destaca-se os comentários abaixo:

“Achei a aula muito boa. A introdução ao conteúdo despertou bastante interesse, curiosidade e reflexões sobre como as coisas são pensadas, quais as inspirações e as regras. E os exercícios propostos auxiliaram bastante a compreender tudo isso.”

“A metodologia utilizada na aula inicial contribuiu com a fixação dos conceitos abordados bem como facilitou a compreensão dos mesmos.”

### 3.3.2. Aula 2

O segundo dia de aula foi dividido em três momentos: dois momentos teóricos e um momento posterior, de prática. Iniciamos a aula abordando os temas de morfogênese e de projeto morfogenético. O tema foi introduzido desde sua origem fonética, permeando suas conceitualização biológica e compreensão da forma como consequência a soma das forças internas e do comportamento com o ambiente. Em sequência, foi feita uma aproximação com o campo projetual da arquitetura, do design e do urbanismo, trazendo exemplificações históricas e contemporâneas do tema, e a distinção entre a morfogênese digital e computacional. O conteúdo programático da aula está disponível no quadro 6, e a aula pode ser acessada pelo QR Code presente no anexo F. A aula foi finalizada conduzindo os estudantes a compreender a necessidade do projeto algorítmico como meio de implementação para efetuar a prática de um projeto morfogenético que objetivasse a otimização, em suma, um projeto mais inteligente.

**Quadro 6 - Explicação do conteúdo teórico de morfogênese**

Nome da aula:	Morfogênese
Descritivo:	Aula para apresentar a conceituação básica sobre morfogênese enquanto conceito biológico e sua aplicação em projetos. A condução da aula visava também apresentar aos alunos a necessidade de se utilizar do projeto algorítmico como viabilizador do uso da morfogênese em projeto.
Conteúdos abordados:	<ul style="list-style-type: none"><li>• Compreensão do termo morfogênese, enquanto “a origem da forma” e sua origem.</li><li>• Compreensão de como as leis naturais influenciam no desenvolvimento de indivíduos e sistemas.</li><li>• Apresentação de que a forma na natureza é o resultado de um diagrama de forças físicas que atuam sobre ela. Desse modo as forças definem escala, limites espaciais e informação da geometria do desenvolvimento até a fase adulta do indivíduo</li></ul>

	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Apresentação da migração desse conceito biológico para o projeto de design, arquitetura e urbanismo.</li> <li>• Exemplificação com projetos de Antoni Gaudí, Heinz Isler e Frei Otto.</li> <li>• Apresentação dos seis principais princípios da morfogênese: crescimento, diferenciação, adaptação, emergência, auto-organização e desenvolvimento evolutivo.</li> <li>• Diferenciação da morfogênese digital e da morfogênese computacional.</li> </ul>
--	---

A segunda parte da aula teve como tema design algorítmico. A apresentação teve como propósito contextualizar sobre o uso do computador como ferramenta de projeto, diferenciando o processo de projeto CAD, tradicionalmente implementado, para o DAD, no qual o foco está em utilizar o potencial computacional (de realizar cálculos com grande velocidade) da ferramenta no projeto, visando uma melhoria de desempenho.

Após a conceitualização geral, os estudantes foram conduzidos a compreensão do algoritmo como uma receita, ou seja, o passo a passo necessário para realizar uma operação, com exemplificações durante a aula teórica tendo como base o preparo de um café. O exemplo em questão foi escolhido visando uma maior familiaridade com os alunos, por se tratar de um processo de comum conhecimento e que possibilita apresentar distintas variações na “receita”. Os discentes foram conduzidos a compreender sobre os conceitos de input, processo do algoritmo, output e um passo a passo lógico para estruturar um algoritmo. O Conteúdo programático da aula está disponível no quadro 7, e pode ser acessada integralmente pelo QR code presente no anexo G.

#### **Quadro 7 - Explicação do conteúdo teórico de design algorítmico**

<b>Nome da aula:</b>	<b>Design algorítmico</b>
----------------------	---------------------------

Descritivo:	Conceituação básica sobre design algorítmico apresentando desde sua origem até a compreensão de seu uso em projeto.
Conteúdos abordados:	<ul style="list-style-type: none"> <li>● Contextualização histórica do surgimento do design algorítmico</li> <li>● Diferenciação dos conceitos de CAD e DAD.</li> <li>● Diferenciação dos conceitos "digital" e "computacional".</li> <li>● Apresentação dos 3 modelos de projeto: formação, generativos e de desempenho.</li> <li>● Conceitualização sobre algoritmos e seu funcionamento.</li> <li>● Definição dos conceitos de input, passo do algoritmo, e output.</li> <li>● Apresentação do passo a passo para desenvolver um algoritmo de projeto.</li> </ul>

Após a aula teórica, os estudantes foram direcionados para o Miro, no qual realizaram o exercício (QUADRO 8) de desenvolver um diagrama de nós de uma receita de bolo. Antes da execução da atividade, foi apresentada uma exemplificação de um diagrama de nós. Semelhante ao exemplo do café utilizado na aula teórica, a temática do bolo foi escolhida por se tratar de um conteúdo generalista e de comum conhecimento. Além disso, os alunos tinham liberdade de pesquisar receitas na internet para usar como base. O foco no exercício estava em que os estudantes compreendessem as noções de parâmetros, variáveis e passos. Bem como a compreensão de que uma informação se modifica ao longo do algoritmo, variando entre input e output.

### Quadro 8 - Explicação da atividade prática 1 da aula 2

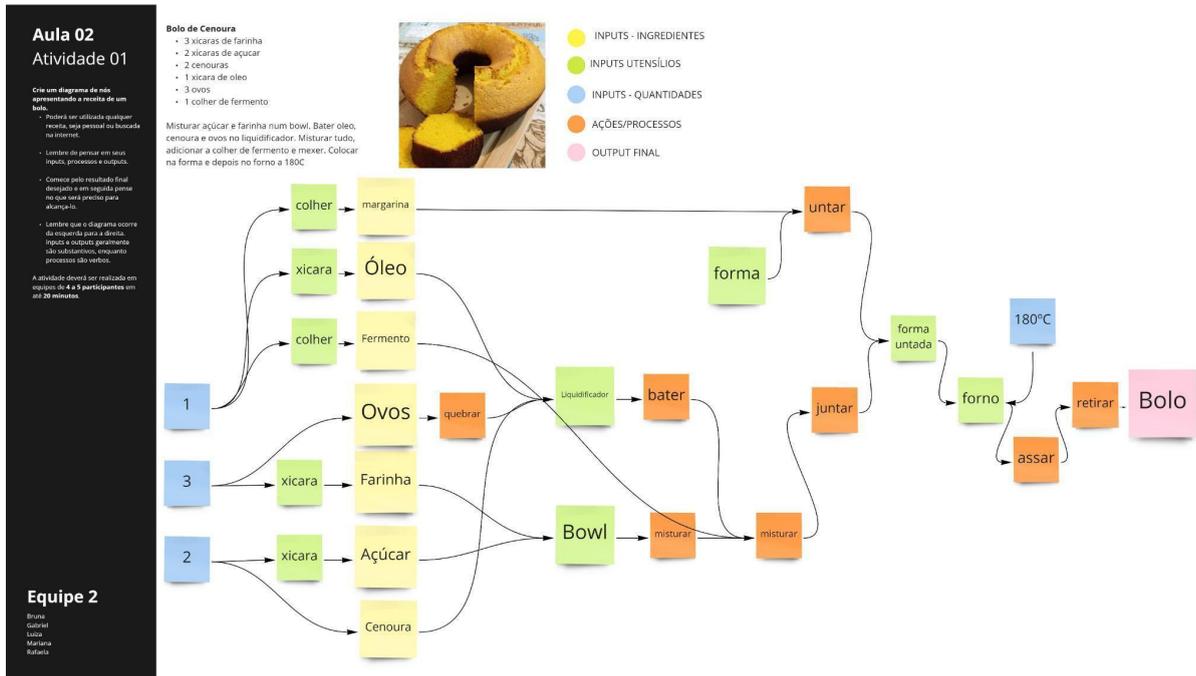
Nome da atividade:	Aula 2- Atividade 1: Diagrama de nós de uma receita de bolo
--------------------	---

Propósito	A atividade teve como objetivo guiar os estudantes em um primeiro exercício projetual orientado pela natureza. Cada grupo de discentes recebeu 3 cartas distintas de inspirações de princípios da natureza. As cartas originais do exercício se encontram apenas disponíveis em inglês, por isso, foram traduzidas.
Descrição da atividade:	<p>Crie um diagrama de nós apresentando a receita de um bolo.</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Poderá ser utilizada qualquer receita, seja pessoal ou buscada na internet.</li> <li>• Lembre de pensar em seus inputs, processos e outputs.</li> <li>• Comece pelo resultado final desejado e em seguida pense no que será preciso para alcançá-lo.</li> <li>• Lembre que o diagrama ocorre da esquerda para a direita. inputs e outputs geralmente são substantivos, enquanto processos são verbos.</li> </ul> <p>A atividade deverá ser realizada em equipes de 4 a 5 participantes em até 20 minutos.</p>

### 3.3.2.1 Resultados da aula 2

Todos os grupos apresentaram uma boa compreensão da atividade e demonstraram bons resultados. Destaca-se que os grupos utilizaram esquema de cores para criar uma distinção mais clara entre ingredientes e procedimentos, o que no processo de projeto pode ser compreendido como geometrias e procedimentos de transformação/manipulação. Outro fato interessante a ser ressaltado é de que alguns grupos criaram uma separação entre o “número” de quantidades e suas respectivas “medidas/dimensões” (FIGURA 17). Além disso, houve também o uso de um único parâmetro variável, um valor de quantidade, designado como *input* de vários procedimentos, possibilitando a criação de relações entre os componentes

**Figura 17 - Resultado da atividade prática 1 da aula 2**



Fonte: Bruna Nogueira Cançado, Gabriel Kacperski Marques, Luiza Coimbra Alfonso, Mariana Severo Soares Duarte e Rafaela Rosa Belloto (2021)

### 3.3.2.2 Avaliação dos alunos da aula 2

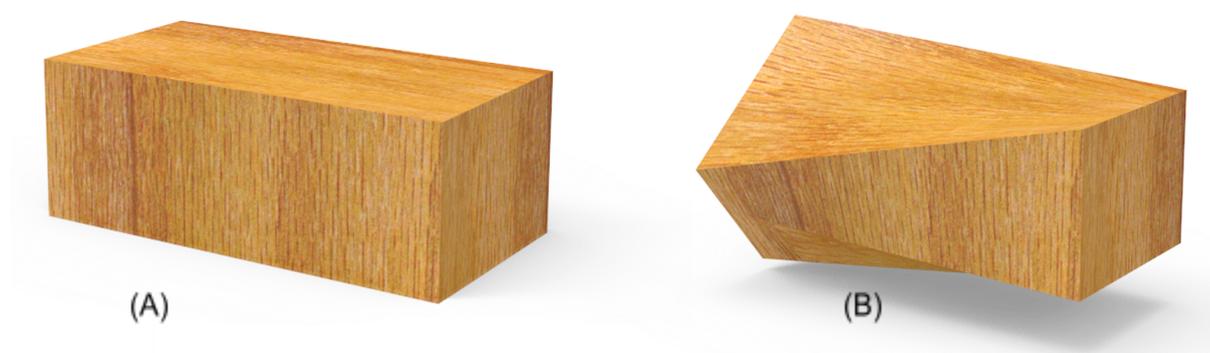
18 alunos realizaram a avaliação da aula, aferindo a nota de 9.58 para as duas aulas teóricas (foram avaliadas conjuntamente no formulário), e 9.70 para a atividade prática do diagrama de nós da receita de bolo. De modo geral, os alunos relataram dificuldade quanto a quantidade de novos termos apresentados nas aulas teóricas, e recomendaram a utilizaram de mais exemplificações, principalmente, quanto ao design algoritmo. Contudo, todos os alunos, mesmo aqueles que alegaram já possuir conhecimento prévio sobre o tema, concordaram que a atividade prática foi fundamental para a compreensão do tema.

### 3.3.3 Aula 3

Com foco em desenvolver o pensamento lógico dos estudantes, a aula se iniciou com dois exercícios práticos realizados no Miro. O primeiro solicitava que os alunos

desenvolvessem um diagrama de nós para o desenho de um cubo/caixa (FIGURA 18A), usando como repertório o conhecimento prévio de CAD e outros softwares de modelagem tridimensional. Após a conclusão da atividade, houve uma rodada de apresentações para que as estratégias de modelagem utilizadas fossem discutidas entre os grupos. Em seguida, os estudantes deveriam realizar um novo diagrama de nós, agora para a forma de um cubo/caixa retorcido, como mostra a Figura 18B. O cubo foi escolhido como forma por se tratar da geometria tridimensional mais básica que poderia ser abordada e que possuísse grande potencial de manipulação nos exercícios posteriores. O princípio foi partir de uma geometria simples e, gradualmente, adicionar camadas de complexidade. Semelhante ao exercício anterior, os alunos fizeram a explanação das lógicas desenvolvidas para toda a turma. Os conteúdos explicativos dos exercícios podem ser vistos nos quadros 9 e 10.

**Figura 18 - Formas da caixa/cubo e da caixa retorcida utilizadas na aula 3**



**Quadro 9 - Explicação da atividade prática 1 da aula 3**

<b>Nome da atividade:</b>	<b>Aula 3 - Atividade 1: Diagrama de nós de uma caixa/cubo</b>
<b>Propósito:</b>	Estimular o pensamento lógico para a construção de um algoritmo para o desenho de uma forma geométrica básica.

<p>Descrição da atividade:</p>	<p>Crie um diagrama de nós apresentando como modelar um paralelepípedo.</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Tente imaginar seu processo de modelagem em um programa convencional e descreva-o como um diagrama de nós.</li> <li>• Lembre-se de ser específico, o computador precisa de passos detalhados e claros para realizar o processo.</li> <li>• Reflita sobre o primeiro passo a ser feito para construir qualquer geometria dentro de um software cad.</li> <li>• Utilize o seu vocabulário de comandos de softwares CAD, como copiar, mover, offset e afins, para designar as etapas do processo.</li> </ul> <p>A atividade deverá ser realizada em equipes de 4 a 5 participantes em até 20 minutos.</p>
--------------------------------	---

### Quadro 10 - Explicação da atividade prática 2 da aula 3

<p><b>Nome da atividade:</b></p>	<p><b>Aula 3- Atividade 1: Diagrama de nós de uma caixa/cubo torcido</b></p>
<p>Propósito:</p>	<p>Adicionar um novo grau de complexidade ao exercício anterior, estimulando os alunos a pensar como poderão com poucas alterações complexificar a forma.</p>
<p>Descrição da atividade:</p>	<p>Crie um diagrama de nós apresentando como modelar um paralelepípedo com uma torção.</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Tente imaginar seu processo de modelagem em um programa convencional e descreva-o como um diagrama de nós.</li> <li>• Lembre-se de ser específico, o computador precisa de passos detalhados e claros para realizar o processo.</li> <li>• Reflita sobre o primeiro passo a ser feito para construir qualquer geometria dentro de um software cad.</li> </ul>

	<ul style="list-style-type: none"><li>• Utilize o seu vocabulário de comandos de softwares CAD, como copiar, mover, offset e afins, para designar as etapas do processo.</li></ul> <p>A atividade deverá ser realizada em equipes de 4 a 5 participantes em até 20 minutos.</p>
--	---

Uma vez que os estudantes haviam exercitado a lógica por de trás da construção de ambos os cubos, a aula deu procedimento para a ferramenta de modelagem paramétrica grasshopper. Inicialmente, foi realizada uma apresentação das interfaces dos programas rhinoceros e grasshopper e a relação entre eles. Em seguida, foi apresentado como o software organiza seus componentes, principalmente a compreensão das famílias de inputs e geometrias, como componentes matemáticos, vetoriais, curvas, e superfícies. Em seguida, a lógica de conexão entre os componentes foi apresentada e os principais sinais de comunicação de erros fornecidos pelo programa.

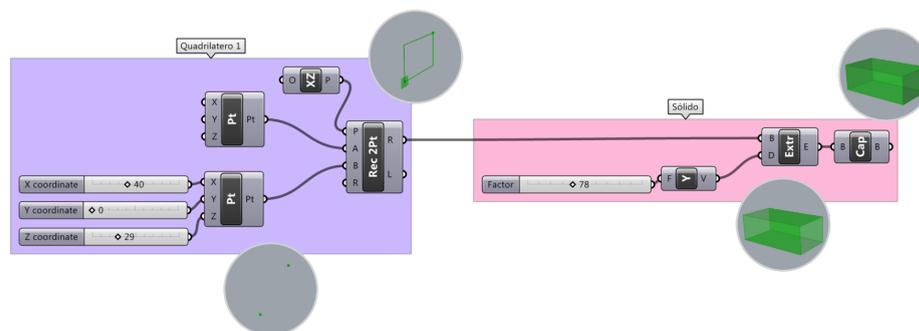
Antes da modelagem ser iniciada, foi disponibilizado aos alunos dois diagramas dos algoritmos que seriam desenvolvidos em aula, para que eles pudessem fazer anotações e o acompanhamento ao longo da explicação caso desejassem (FIGURA 19 e 20). Em seguida, foi dado andamento para a modelagem do cubo e nesse processo se buscou implementar as lógicas de modelagem desenvolvidas pelos estudantes no exercício prático para que eles compreendessem como o raciocínio do diagrama de nós se converteu na linguagem do grasshopper.

Após a modelagem do primeiro cubo, foi realizada a adaptação desse algoritmo para se adequar a forma do cubo retorcido, apresentando assim para os estudantes que com uma pequena variação de componentes é possível alcançar uma grande variabilidade formal. A alternância se focou em mudar a lógica de modelagem de uma extrusão linear para uma construção em loft com rotação de uma das curvas. Ao longo de toda a modelagem, os estudantes eram questionados

sobre como eles abordaram aquele problema caso estivesse modelando, ou seja, qual lógica de modelagem eles implementaram e qual decisão tomariam. Por exemplo, era questionado: “Okay, e agora? Como vocês acham que deveríamos fazer para transformar a linha em uma superfície? Além disso, ambas as atividades visam apresentar um conjunto mínimo viável de componentes para modelagem.

**Figura 19 - Atividade computacional 1 da aula 3**

Exercício 1  
ETAPA 1 - Caixa



Workshop: Estratégias de otimização orientadas pela natureza em projetos de Design e de Arquitetura

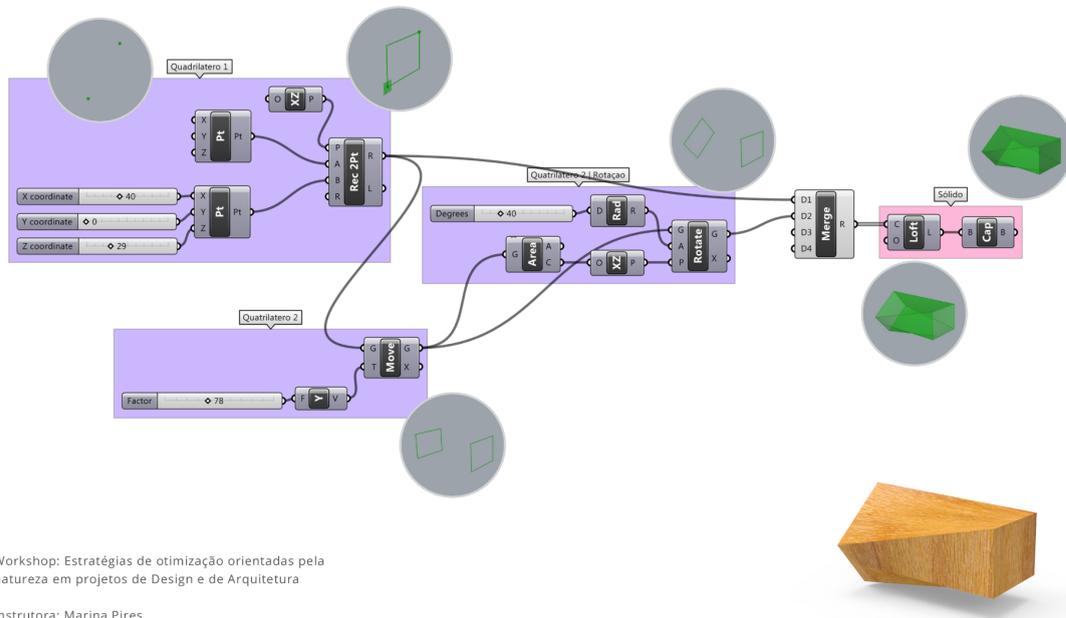
Instrutora: Marina Pires



Figura 20 - Atividade computacional 2 da aula 3

### Exercício 1

#### ETAPA 2 - Caixa Retorcida



Workshop: Estratégias de otimização orientadas pela natureza em projetos de Design e de Arquitetura

Instrutora: Marina Pires

#### 3.3.3.1 Resultados da aula 3

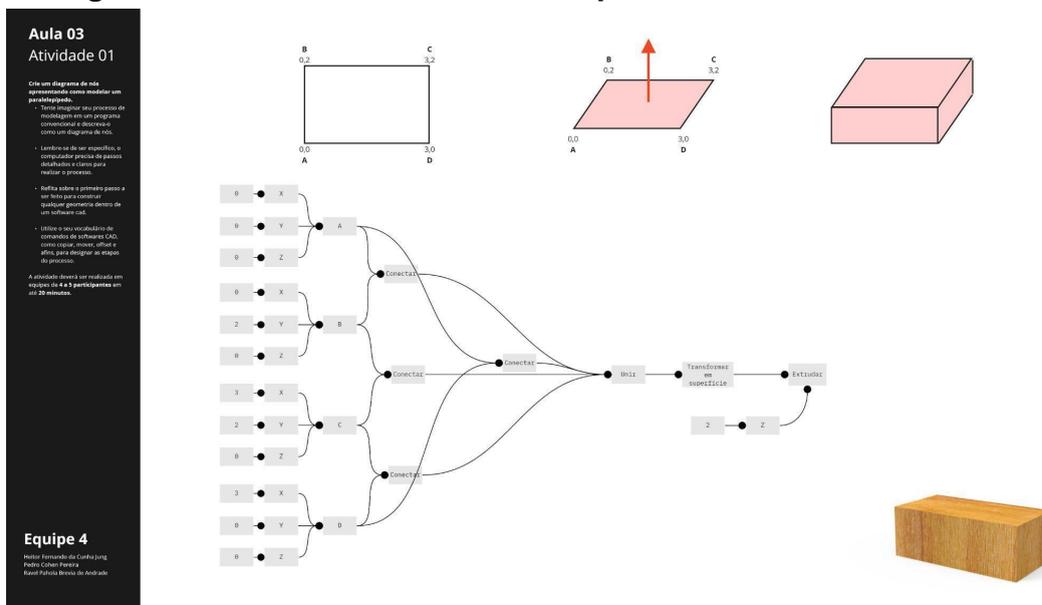
Todos os grupos apresentaram bom desempenho no desenvolvimento das atividades práticas no Miro. Contudo, ressalta-se que houve uma grande distinção daqueles grupos cujos alunos já possuíam um contato prévio com a ferramenta Grasshopper e aqueles que estavam utilizando-a pela primeira vez. Em linhas gerais, foi percebido três estratégias de modelagem para o diagrama de nós do cubo/caixa: 1) o desenho de todos os seus 8 vértices, com o desenho as arestas entre eles e por fim o fechamento das superfícies; 2) desenho de um retângulo com base em quatro pontos e em seguida realizada a extrusão (FIGURA 21); 3) desenho de um retângulo com base em 2 pontos e em seguida realizada a extrusão (FIGURA 22).

Os alunos apresentaram um bom acompanhamento ao longo do exercício e também foi percebido um bom engajamento para as provocações realizadas quanto aos direcionamentos de modelagem que deveriam ser tomados. O uso dos questionamentos teve como base também fazer com que os estudantes percebessem que eles já compreendiam a lógica de construção da geometria, sendo necessário apenas adaptações quanto ao repertório de componentes.

### 3.3.3.2 Avaliação dos alunos da aula 3

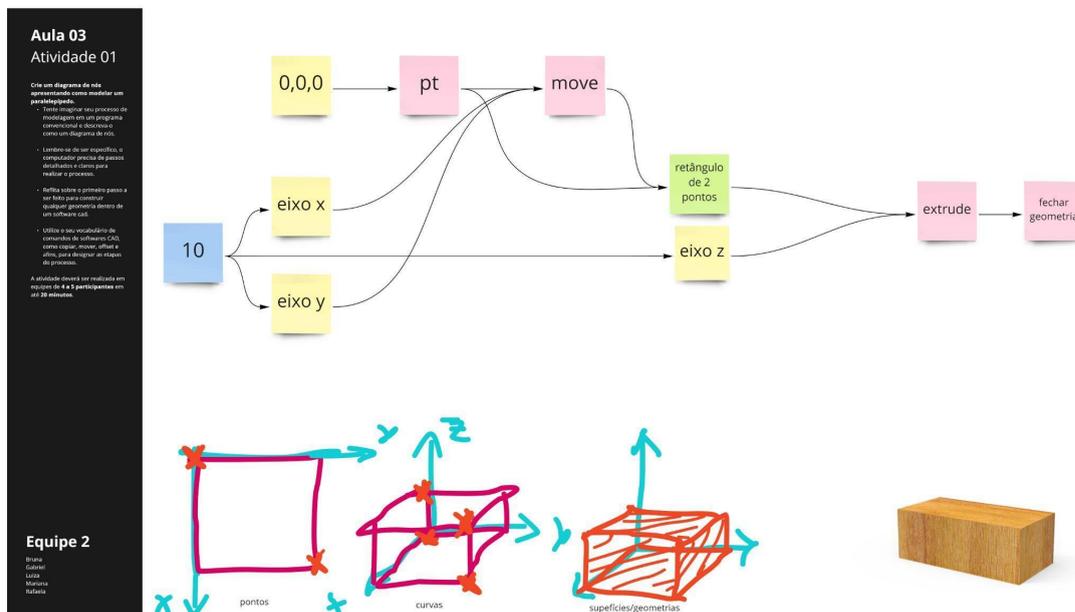
19 alunos realizaram a avaliação dessa aula, classificando a explicação do software com nota 9.4, os exercícios práticos com 9.57 e a prática dentro do Grasshopper recebendo a nota de 9.68. Entre os comentários dos alunos houveram relatos de dificuldade devido ao tempo, devido a perda de alguns minutos por problemas técnicos no computador da docente, o que acarretou em uma diminuição no tempo destinado às atividades. Entretanto, em sua maioria não houve relatos de dificuldades no questionário e não foram percebidas dificuldades durante a aplicação da aula.

**Figura 21 - Resultado da atividade prática 1 da aula 3**



Fonte: Heitor Fernando da Cunha Jung, Pedro Cohen Pereira e Ravel Pahola Brevia de Andrade (2021)

Figura 22 - Resultado da atividade prática 1 da aula 3

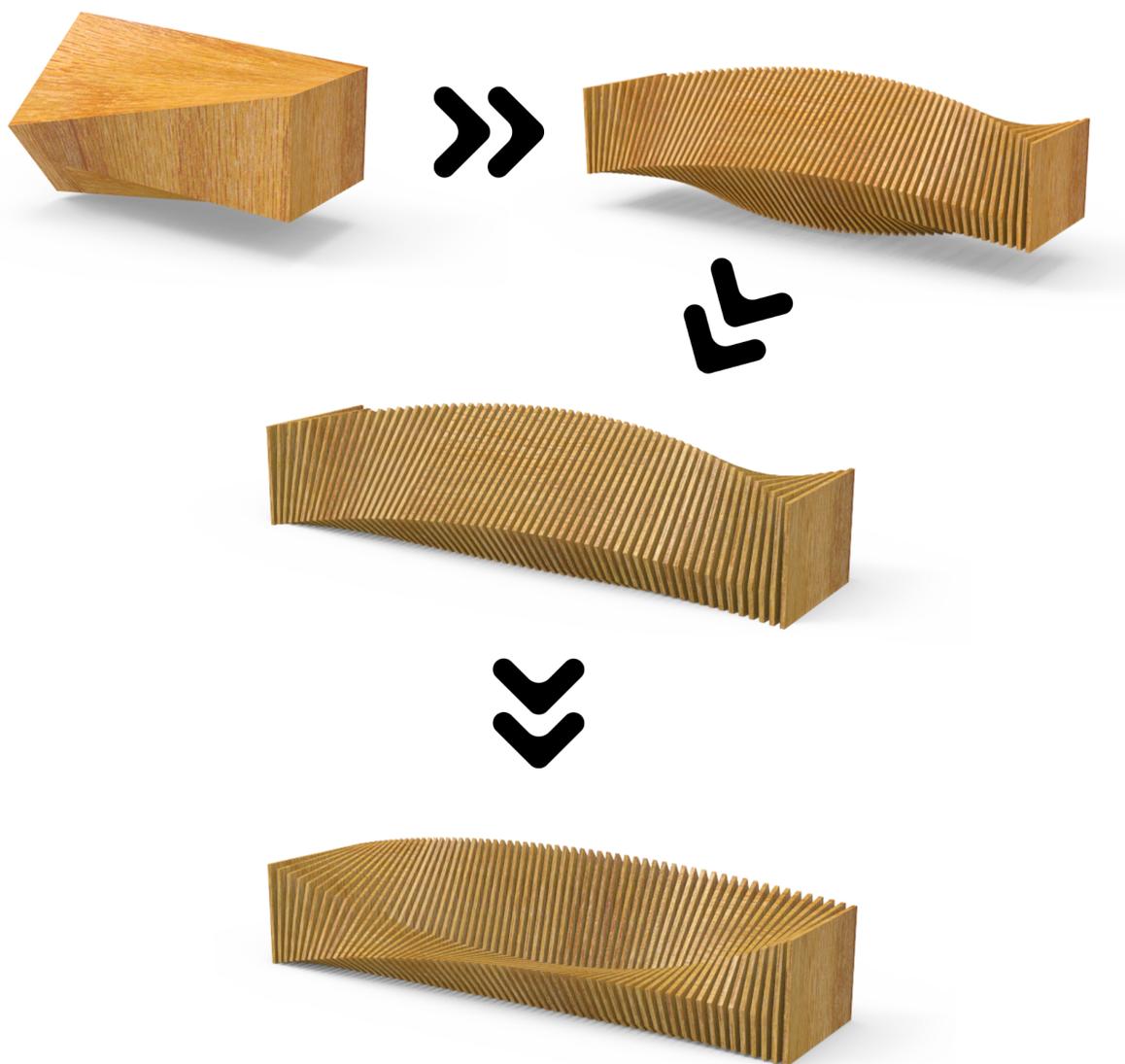


Fonte: Bruna Nogueira Cançado, Gabriel Kacperski Marques, Luiza Coimbra Alfonso, Mariana Severo Soares Duarte e Rafaela Rosa Belloto (2021)

### 3.3.4 Aula 4

Na quarta aula, aprofundamos as atividades com o cubo retorcido do encontro anterior, adicionando novas camadas de complexidade. Foram realizadas três séries de exercícios, com a premissa de utilizar tal formato de cubo para alcançar um desenho mobiliário de banco ripado em madeira, de execução factível sob o âmbito da fabricação digital. A fim de melhor gerenciar essa progressão de operações, a construção foi dividida e visualizada em três momentos distintos. O primeiro para a produção da técnica de fatiamento para o ripado, o segundo para o recorde de relevo inferior originado devido a torção, visando promover uma superfície plana para apoiar o banco, e terceiro para o rebaixo do assento. O processo da topologia pode ser visto na figura 23.

**Figura 23 - Classificação de conhecimento dos participantes quanto ao tema Bio-inspirações/Biomimética**



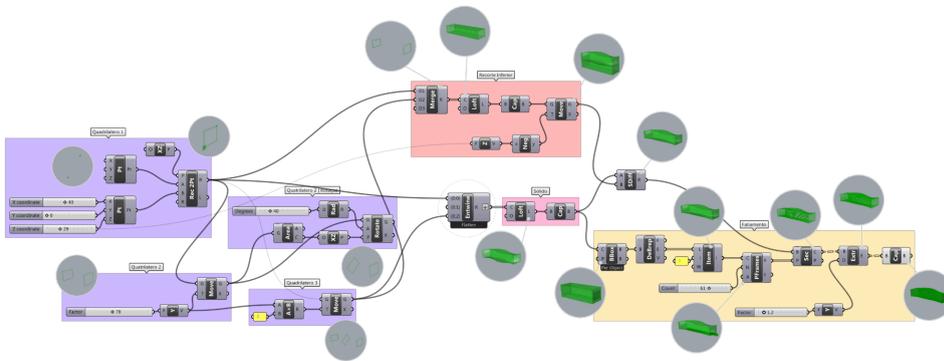
Quando a dinâmica implementada em aula, os alunos foram orientados inicialmente a discutirem entre si enquanto turma sobre qual seria a abordagem utilizada para realizar o primeiro passo da modelagem, com a criação do fatiamento. Em seguida, foi apresentado o algoritmo da modelagem dessa fase e foi explicado passo a passo como o raciocínio dos alunos se transferiria para os componentes que seriam utilizados no processo, e por fim foi esse foi realizado na interface do



## Figura 25 - Atividade computacional 2 da aula 3

### Exercício 1

ETAPA 4 - Banco Fatiado com ajuste do piso



Workshop: Estratégias de otimização orientadas pela natureza em projetos de Design e de Arquitetura

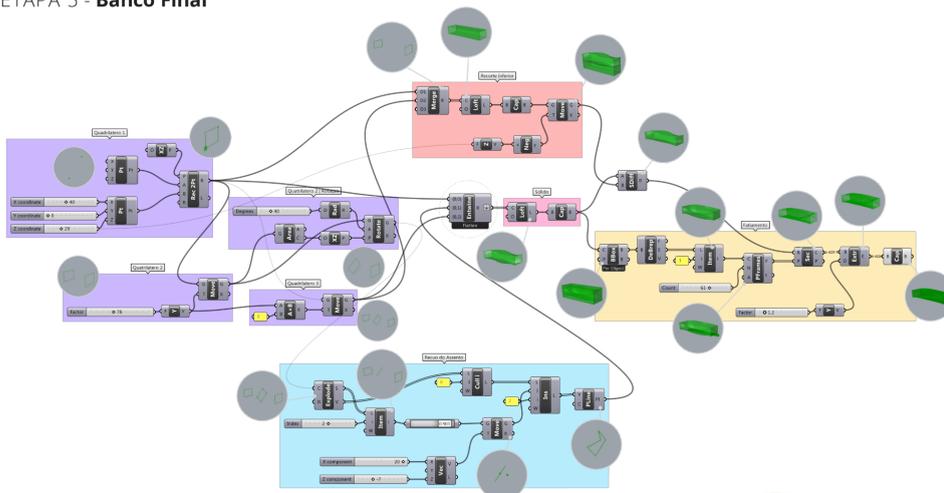
Instrutora: Marina Pires



## Figura 26 - Atividade computacional 3 da aula 4

### Exercício 1

ETAPA 5 - Banco Final



Workshop: Estratégias de otimização orientadas pela natureza em projetos de Design e de Arquitetura

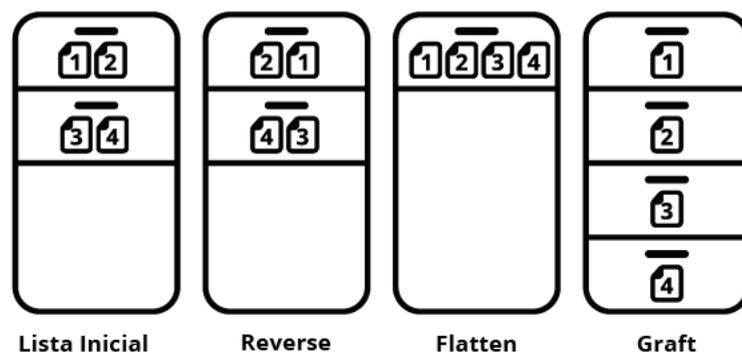
Instrutora: Marina Pires



### 3.3.4.1 Resultados da aula 4

Os alunos tiveram um bom engajamento durante as discussões teóricas e a troca entre os grupos possibilitou que gradativamente fossem enquadrando a lógica construtiva necessária para o desenho do projeto. Contudo, foi percebido que as três etapas aplicadas em uma única aula apresentou uma sobrecarga para os estudantes, acarretando pouco tempo para a realização da terceira parte. Além disso, nessa etapa do curso foram introduzidos os conceitos de lista com explanação sobre os componentes *reverse*, *flatten* e *graft*, o que ocasionou uma demanda de tempo para explicações e retirada de dúvidas. Para a apresentação desses conceitos foi realizada uma metáfora tendo como base um armário de arquivos que apresentou boa recepção. A analogia consiste de que a informação do Grasshopper é organizada como em um arquivo. Dentro desse arquivo, há gavetas e dentro dessas bolinhas. No exemplo da figura 27, vemos que a informação de base são duas listas, cada uma com dois elementos. Ao aplicarmos o “*reverse*”, a ordem dos arquivos muda, havendo a inversão do sentido. Já quando implementamos o componente “*flatten*”, todos os arquivos são levados a uma única gaveta e não existe mais distinção entre as gavetas ou camadas de informação, toda ela está contida em uma única lista. Por fim, ao aplicarmos o “*graft*”, cada arquivo, passa a receber uma gaveta própria, representando dessa forma uma lista que é quebrada em múltiplas listas pelo componente.

**Figura 27 - Diagrama explicativo da metáfora utilizada para explicar os conceitos de organização de listas do Grasshopper**



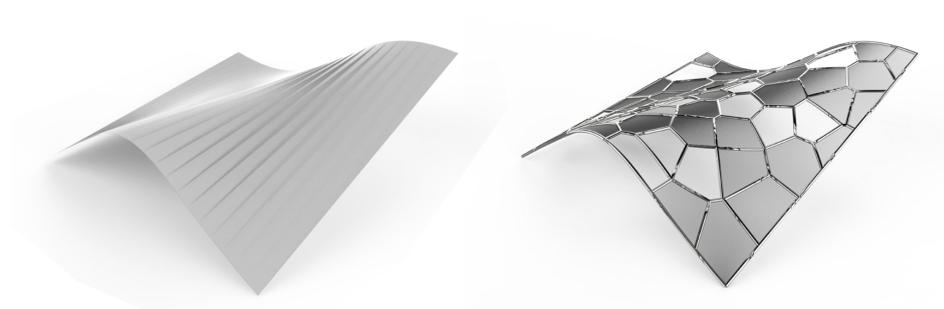
#### **3.3.4.2 Avaliação dos alunos da aula 4**

Ao total, 18 alunos preencheram o questionário de avaliação da aula, destinando as atividades de discussão sobre a lógica construtiva a nota de 9.42, enquanto a dinâmica de implementação do raciocínio no Grasshopper recebeu a avaliação de 9.63. A percepção anteriormente apresentada quanto ao pouco tempo para a realização dos três blocos de exercício foi confirmada com os comentários dos alunos. 4 estudantes relataram dificuldades para acompanhar o último trecho da aula, em parte devido ao pouco tempo, em parte ao cansaço do final da aula. Contudo ressalta-se que um grupo de alunos nunca é homogêneo e dificuldades são esperadas. Ainda assim, é recomendado que em aplicações posteriores sejam somente feitas duas etapas da atividade e o tempo final da aula seja destinado a troca e discussão do terceiro passo, guardando sua implementação para a aula seguinte.

#### **3.3.5 Aula 5**

O último dia de fundamentação trazia como objetivo apresentar outra forma de realizar a modelagem, um pouco mais orgânica e alguns componentes que ainda não haviam sido explanados, principalmente, referentes ao uso do domínio matemático. Assim, a ideia da aula nesse dia era produzir uma cobertura maleável, que posteriormente receberia uma padronagem voronoi, para fazer um retorno ao conteúdo apresentado no início da semana e começar uma construção de projetos com inspirações na natureza, ainda que inicialmente em uma escala meramente topológica (FIGURA 28).

**Figura 28 - Imagens das coberturas a serem desenvolvidas na aula 5**



A dinâmica da aula consistiu em cinco momentos. O primeiro, destinado ao desenvolvimento de uma atividade prática analógica com a criação de um diagrama de nós que compreendesse o processo de modelagem da cobertura em sua topologia básica, sem a aplicação da padronagem. Os detalhes da atividade podem ser vistos no quadro 11.

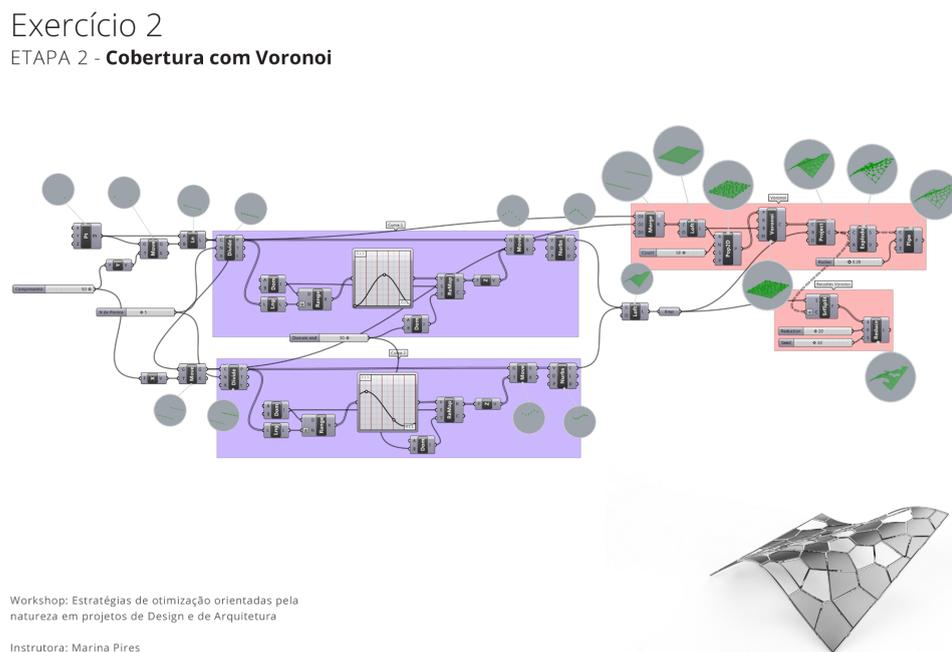
**Quadro 11 - Explicação da atividade prática 1 da aula 5**

<b>Nome da atividade:</b>	<b>Aula 5 - Atividade 1: Diagrama de nós da cobertura</b>
Propósito:	Apresentar uma nova dinâmica de modelagem, agora focada na construção de uma superfície complexa.
Descrição da atividade:	<p>Crie um diagrama de nós apresentando como modelar a da imagem. cobertura/superfície</p> <ul style="list-style-type: none"><li>• Tente imaginar seu processo de modelagem em um programa convencional e descreva-o como um diagrama de nós.</li><li>• Lembre-se de ser específico, o computador precisa de passos detalhados e claros para realizar o processo.</li><li>• Reflita sobre o primeiro passo a ser feito para construir qualquer geometria dentro de um software CAD.</li><li>• Utilize o seu vocabulário de comandos de softwares CAD, como copiar, mover, offset e afins, para designar as etapas do processo.</li></ul>



As duas últimas etapas da aula foram destinadas a compreensão e aplicação da padronagem voronoi. Assim, foi aberta a discussão com toda a turma, tendo como base o algoritmo ilustrado da figura 30 e com foco principal no debate dos componentes englobados no grupo de cor rosa, nos quais é feita a aplicação do padrão. Em seguida, foi apresentado como fazer a implementação desse trecho do algoritmo dentro do programa e o processo foi acompanhado pelos estudantes.

**Figura 30 - Atividade computacional 2 da aula 5**



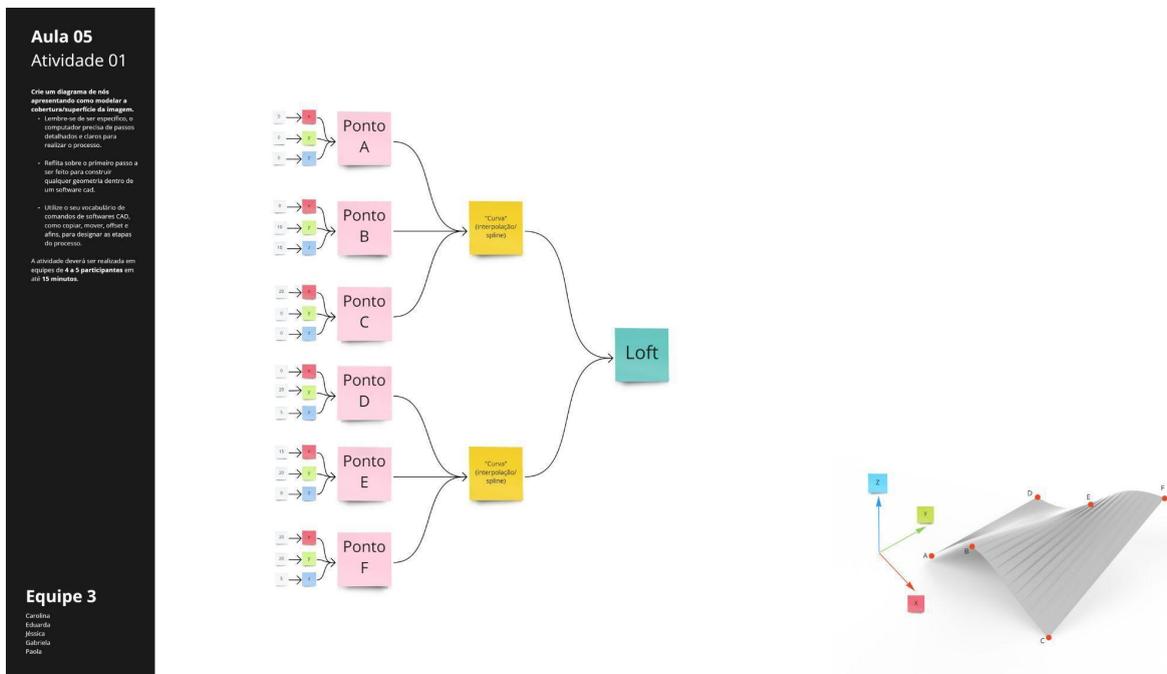
### 3.3.5.1 Resultados aula 5

A atividade do diagrama de nós funcionou como termômetro para analisar se os alunos estavam assimilando os componentes apresentados nos dias anteriores. Todos os grupos trouxeram o desenho da superfície via o componente “*loft*”, contudo a construção das linhas que o originou foi desenvolvida de forma ponto a ponto, com cada ponto a estar definido especificamente num espaço como pode ser visto na figura 31.

No tocante a explicação e aplicação do comando “graph map” e por consequência da lógica do uso do domínio, os alunos apresentaram um pouco de dificuldade para compreensão. Para aplicações futuras é recomendado o desenvolvimento de uma dinâmica própria para a explanação desse.

Paralelamente, os estudantes não apresentaram dificuldades no processo de aplicação da padronagem voronoi na superfície da cobertura e o uso dessa, gerou um bom engajamento entre os alunos. Contudo, o conceito teórico e a estruturação do padrão não foram apresentados aos alunos. É recomendado que em aplicações semelhantes no futuro o mesmo seja apresentado.

**Figura 31 - Resultado da atividade prática 1 da aula 5**



Fonte: Carolina Silveira Mattiello, Eduarda Almeida Bittencourt, Jéssica Gomes da Rosa, Gabriela de Souza e Paola Osterkamp (2021).

### 3.3.5.2 Avaliação dos alunos da aula 5

17 alunos preencheram a avaliação da aula e qualificaram o exercício do diagrama de nós com a nota de 9.68, enquanto a implementação dos códigos no Grasshopper recebeu a avaliação de 9.83, sendo a nota mais alta de toda a semana

de fundamentação. Todos os comentários recebidos dos alunos foram positivos, destacando o abaixo:

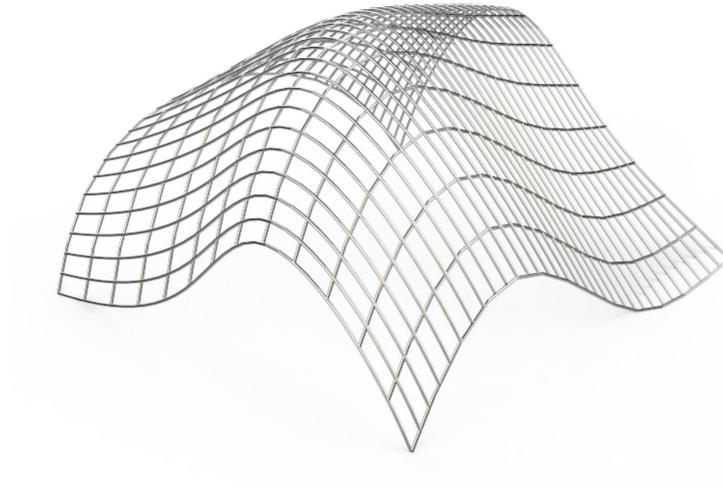
“excelente a proposta de fazer exercícios e terminar cada aula com algo finalizado. terminar a aula com um exercício pronto é bastante gratificante e anima a continuar, além de tornar a prática mais dinâmica”.

Desse modo, ressalta-se que para aplicações futuras das dinâmicas se dê prioridade a implementação de exercícios que possam ser finalizados em um dia ou no máximo dois, para que os estudantes vejam nitidamente seu progresso de aprendizado.

### **3.3.6 Aula 6**

A aula 6 deu início a semana de aprofundamento e para isso se iniciou com uma revisão geral dos conteúdos que haviam sido apresentados nos encontros anteriores. O foco neste dia estava no desenvolvimento do modelo base no qual seriam realizados os processos de análise estrutural e otimização nos dias subsequentes. Desse modo, a aula se iniciou com um exercício analógico no miro em que os estudantes deveriam realizar um diagrama de nós da cobertura da figura 32. O exercício propositalmente se assemelhava visualmente ao realizado na aula 5, contudo, partia de uma abordagem de modelagem inteiramente diferente. Os detalhes da atividade estão descritas no quadro 12.

**Figura 32 - Imagem da cobertura utilizada nos exercícios da aula 6**



**Quadro 12 - Explicação da atividade prática 1 da aula 6**

<b>Nome da atividade:</b>	<b>Aula 6 - Atividade 1: Diagrama de nós da cobertura com base em curva aberta parabólica</b>
Propósito:	Desenvolver o raciocínio lógico para a modelagem da cobertura e revisar os conteúdos expostos na semana anterior do curso.
Descrição da atividade:	<p>Crie um diagrama de nós apresentando como modelar a cobertura da imagem apresentada.</p> <ul style="list-style-type: none"><li>• Tente imaginar seu processo de modelagem em um programa convencional e descreva-o como um diagrama de nós.</li><li>• Lembre-se de ser específico, o computador precisa de passos detalhados e claros para realizar o processo.</li><li>• Reflita sobre o primeiro passo a ser feito para construir qualquer geometria dentro de um software CAD.</li><li>• Utilize o seu vocabulário de comandos de softwares CAD, como copiar, mover, offset e afins, para designar as etapas do processo.</li></ul>

	A atividade deverá ser realizada em equipes de 4 a 5 participantes em até 15 minutos.
--	---

Após a conclusão do exercício do diagrama de nós, foi realizada uma nova atividade analógica com os alunos (QUADRO 13). Nessa, eles receberam uma imagem do algoritmo do Grasshopper, que estava com suas etapas ilustradas, e em grupo eles deveriam identificar: 1) o que estava acontecendo no modelo; 2) quais componentes eles desconheciam; 3) inferir o comportamento dos componentes desconhecidos.

### Quadro 13 - Explicação da atividade prática 2 da aula 6

<b>Nome da atividade:</b>	<b>Aula 6 - Atividade 2: Análise de algoritmo da cobertura com base em curva aberta parabólica.</b>
Propósito:	Estimular a leitura dos algoritmos sem dependência da interface de visualização do software, com a revisão dos comandos previamente vistos e o debate para compreensão de novos componentes.
Descrição da atividade:	<p>Com base no código, e nas explicações apresentadas do mesmo, Identifique e descreva o seu funcionamento. Utilize post-it para apresentar cada ação realizada pelos componentes conhecidos.</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Utilize uma cor de post-it para identificar aqueles dos quais possuem certeza do funcionamento e outra cor para os que não, mas que consigam inferir o funcionamento pelo código apresentado.</li> <li>• O código é composto por quatro grupos iguais em um trecho e dois outros grupos idênticos em outro. Identifique apenas um deles</li> </ul> <p>A atividade deverá ser realizada em equipes de 4 a 5 participantes em</p>

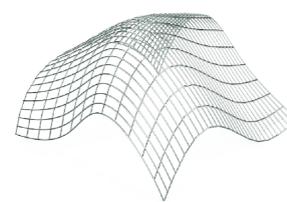
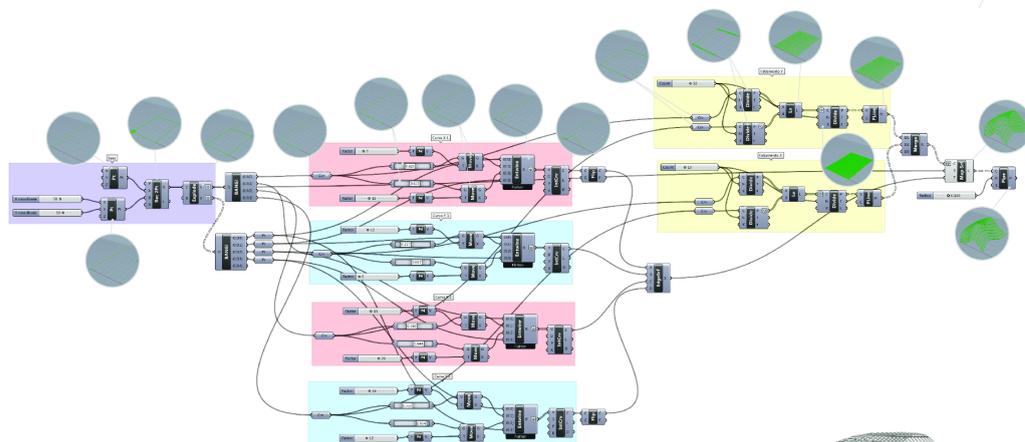
até 20 minutos.

Após a conclusão das duas atividades práticas, foi realizado um debate com todos os estudantes para discutir sobre o funcionamento do algoritmo e explicar os componentes que eram desconhecidos por esses. Somente então, foi realizada a implementação da lógica dentro do Grasshopper de acordo com a figura 33 abaixo.

**Figura 33 - Atividade computacional 1 da aula 6**

### Exercício 3

ETAPA 1 - Cobertura Base



Workshop: Estratégias de otimização orientadas pela natureza em projetos de Design e de Arquitetura

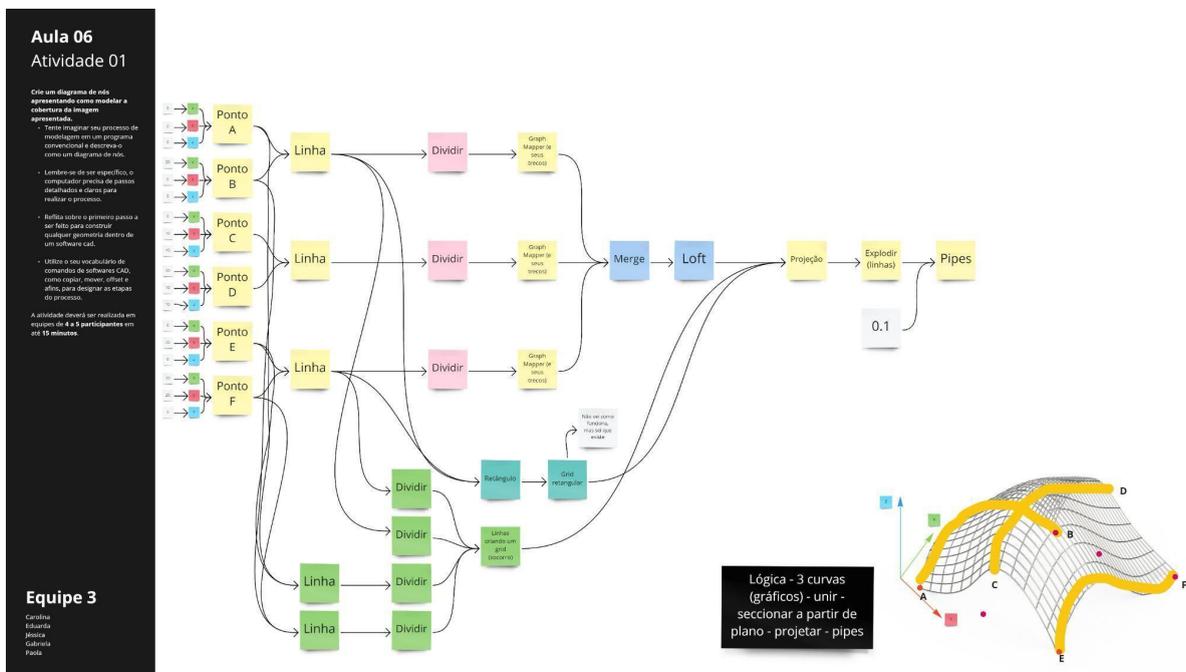
Instrutora: Marina Pires

#### 3.3.6.1 Resultados da aula 6

Em sua maioria, as equipes realizaram a primeira atividade de desenho do diagrama de nós, tendo como base o comando “loft” para a construção da geometria. Ainda que essa não tenha sido a estratégia de modelagem utilizada posteriormente, é

efetiva e demonstra um grau de absorção dos conteúdos apresentados na semana anterior. Em geral, os alunos propuseram realizar a cobertura com três curvas transformadas em superfície por loft, enquanto a estratégia original se baseava em 4 curvas fechadas pelo componente "Boundary surface". As estratégias para implementação do grid variaram entre o desenho manual deste com posterior projeção das linhas e o uso de um componente para a realização automática da estrutura (ainda que esse componente não tenha sido apresentado). Um exemplo de resolução pode ser visualizado na figura 34 em sequência.

**Figura 34 - Resultado da atividade prática 1 da aula 6**

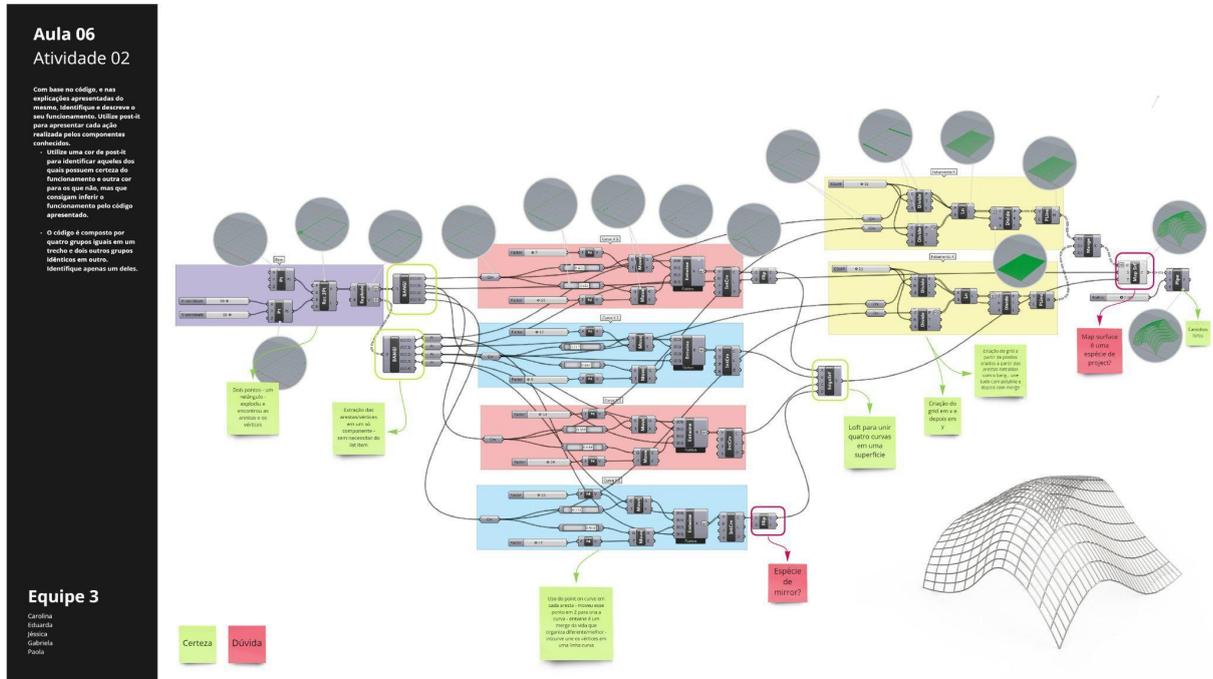


Fonte: Carolina Silveira Mattiello, Eduarda Almeida Bittencourt, Jéssica Gomes da Rosa, Gabriela de Souza e Paola Osterkamp (2021).

Na segunda atividade analógica, de modo geral, todas as equipes conseguiram identificar a maioria dos componentes (FIGURA 35). Contudo, foram percebidas dificuldades para a compreensão dos comandos: edge surface, flip curve, explode tree e map surface. Vale ressaltar que esses não haviam sido ainda apresentados anteriormente aos alunos e que, apesar do desconhecimento, os

mesmos conseguiram compreender a função que o componente estava realizando dentro do algoritmo.

**Figura 35 - Resultado da atividade prática 1 da aula 6**



Fonte: Carolina Silveira Mattiello, Eduarda Almeida Bittencourt, Jéssica Gomes da Rosa, Gabriela de Souza e Paola Osterkamp (2021).

### 3.3.6.1 Avaliação dos alunos da aula 6

Ao total, 19 alunos responderam a avaliação da aula do dia 6, classificando os exercícios práticos realizados no Miro com nota 9.80 e a atividade de implementação do algoritmo no Grasshopper recebeu a avaliação de 9.81. É válido ressaltar que o novo exercício de leitura e identificação do algoritmo foi muito bem recebido, recebendo destaque entre as avaliações dos alunos, como pode ser visto nos seguintes comentários:

“Achei muito boa a atividade de leitura do código, foi muito interessante e contribui para reforçar o aprendizado”

“a segunda atividade analógica de pontuar o que estava acontecendo no código foi muito boa, ajudou a esclarecer o passo a passo e nos ajudou a pensar nos erros

que acontecem durante o processo de criação, por que acontecem e como corrigi-los";

“Ler e interpretar os códigos foi muito bom para compreensão do exercício!”.

### **3.3.7 Aula 7**

O sétimo encontro foi destinado a uma maior carga teórica. Esse foi composto de dois momentos expositivos, duas atividades práticas no Miro e uma atividade realizada no Grasshopper. Iniciamos o conteúdo apresentando o plugin Karamba 3D, responsável pelo desenvolvimento de análises estruturais. O momento foi dedicado a compreender o funcionamento da lógica do programa e se familiarizar com a família de componentes necessários para realizar as referidas simulações estruturais. Todo o conteúdo da aula está disponível para consulta no quadro 14. Durante o processo de análise é necessário fornecer ao programa as seguintes informações:

- Modelo: O modelo em questão que será analisado. Esse deverá ser alimentado em formato de curvas, sendo realizado anteriormente a checagem quanto à existência de linhas duplicadas.
- Suporte: Condição de apoio ou de contorno. É uma parte do modelo que será fixada no chão e não poderá se movimentar. O suporte pode ser fixado tanto quanto a sua translação, como também a sua rotação.
- Força: Sentido, módulo e direção da força que será aplicada sob o modelo. Os estudos podem ocorrer tendo como base o próprio peso da gravidade sob a estrutura, ou a inserção de uma força direcional em forma de ponto, linha ou plano.
- Material: Propriedades mecânicas do material, com possível escolha de um dos materiais existentes dentro da biblioteca do Karamba 3D. Há também a opção de inserir diretamente as características dos materiais para realizar simulações específicas.

- Seção: O perfil da estrutura que será utilizado pelo programa para realizar os cálculos. Esse já possui uma biblioteca interna de diferentes perfis existentes no mercado de construções.

#### Quadro 14 - Explicação do conteúdo teórico do Karamba 3D

<b>Nome da aula:</b>	<b>Karamba 3D</b>
Descritivo:	Apresentação dos fundamentos do plugin para análise estrutural.
Conteúdos abordados:	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Paralelo histórico com as análises estruturais desenvolvidas por Antoni Gaudí e Heinz Isler.</li> <li>• Definição da simulação enquanto o processo de simulação do das forças reais do ambiente.</li> <li>• Compreensão das 5 informações essenciais utilizadas pelo Karamba 3D para realização da análise estrutural: modelo, suporte, força, material e seção.</li> </ul>

Em seguida, foi realizado um exercício prático, no qual os alunos foram instigados a propor como as informações descritas acima poderiam ser definidas e identificadas para realizar uma análise estrutural da cobertura desenvolvida na aula anterior (QUADRO 15). Ao final da atividade, a lógica desenvolvida foi implementada no Grasshopper e cada aluno desenvolveu uma análise estrutural simples da estrutura da cobertura, na qual era possível mensurar energia de deformação, volume, peso, entre outros dados (FIGURA 36).

#### Quadro 15 - Explicação da atividade prática 1 da aula 7

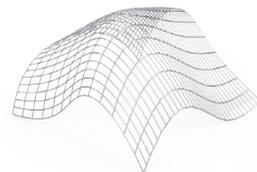
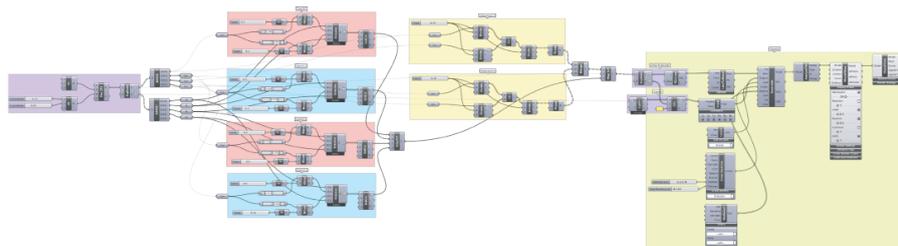
<b>Nome da atividade:</b>	<b>Aula 7 - Atividade 1: diagrama de correlação entre o processo de análise do Karamba 3D e a cobertura autoportante.</b>
---------------------------	---

<p>Propósito:</p>	<p>Realizar uma aproximação entre o raciocínio lógico empregado nas otimizações do Karamba 3D e os alunos para facilitar o processo de compreensão do mesmo durante a implementação.</p>
<p>Descrição da atividade:</p>	<p>Crie um diagrama de nós apresentando como acontecerá o nosso processo de análise, tendo em vista que precisaremos identificar os seguintes elementos:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>● Modelo</li> <li>● Suporte</li> <li>● Forças</li> <li>● Material</li> <li>● Secção</li> </ul> <p>A atividade deverá ser realizada em equipes de 4 a 5 participantes em até 15 minutos.</p>

**Figura 36 - Atividade computacional 1 da aula 6**

Exercício 3

ETAPA 2 - Cobertura Base com Karamba



Workshop: Estratégias de otimização orientadas pela natureza em projetos de Design e de Arquitetura

Instrutora: Marina Pires

Dando sequência às atividades foi proposto aos alunos a reflexão de como eles poderiam melhorar o desempenho de seus modelos de análise estrutural, para, em seguida, ser ministrada a aula teórica sobre otimização. Nessa, a otimização foi

abordada como o processo de minimizar ou maximizar um valor por meio da manipulação de variáveis para alcançar um objetivo, contudo, respeitando as restrições do sistema. Houve ainda uma contextualização histórica com exemplos de projetos de Antoni Gaudí, e sua experimentação com as cordas para a construção da Sagrada Família, e das coberturas autoportantes do Heinz Isler. Foi enfatizado que hoje buscamos realizar virtualmente o que esses projetistas executavam em suas maquetes físicas, ou seja, simular como as forças da natureza influenciam nosso projeto e como podemos minimizar a energia de deformação gerada nesse processo. O conceito de energia de deformação foi apresentado de forma mínima, apenas como a energia liberada no processo de deformação da estrutura. Todo o conteúdo abordado na aula pode ser visto no quadro 16.

**Quadro 16 - Explicação do conteúdo teórico de otimização**

Nome da aula:	Otimização
Descritivo:	Apresentação dos fundamentos do plugin para análise estrutural.
Conteúdos abordados:	<ul style="list-style-type: none"> <li>● Conexão com o conteúdo apresentado anteriormente sobre os arquitetos Antoni Gaudí e Heinz Isler apresentando que as análises estruturais realizadas por esses tinham como fundamento a otimização dessas estruturas.</li> <li>● Definição de otimização como o processo de maximizar ou minimizar um valor em busca de um objetivo.</li> <li>● Para alcançar esse objetivo são manipulados parâmetros variáveis.</li> <li>● No processo de otimização existirão restrições que precisarão ser respeitadas.</li> </ul>

Por fim, foi realizada uma atividade prática analógica para fixação e experimentação dos conceitos de otimização (QUADRO 17). Para tanto, os alunos

foram desafiados a buscar formas de otimizar três dos projetos desenvolvidos anteriormente em aula: o banco ripado, a cobertura com padrão Voronoi, e a cobertura de curvas abertas. Para cada uma desses exemplos, os estudantes deveriam definir um objetivo, um valor maximizado ou minimizado, as variáveis a serem manipuladas no processo e quais restrições de projeto haveriam no processo de otimização.

### Quadro 17 - Explicação da atividade prática 2 da aula 7

Nome da atividade:	Aula 7 - Atividade 2: Criação de propostas de otimização
Propósito:	Realizar, na prática, uma primeira aproximação e experimentação dos estudantes com os conceitos básicos de otimização para maior compreensão e fixação desses.
Descrição da atividade:	<p>Análise o que podemos otimizar nos exercícios desenvolvidos até agora. Quais seriam nossos objetivos, variáveis e restrições?</p> <p>A atividade deverá ser realizada em equipes de 4 a 5 participantes em até 30 minutos.</p>

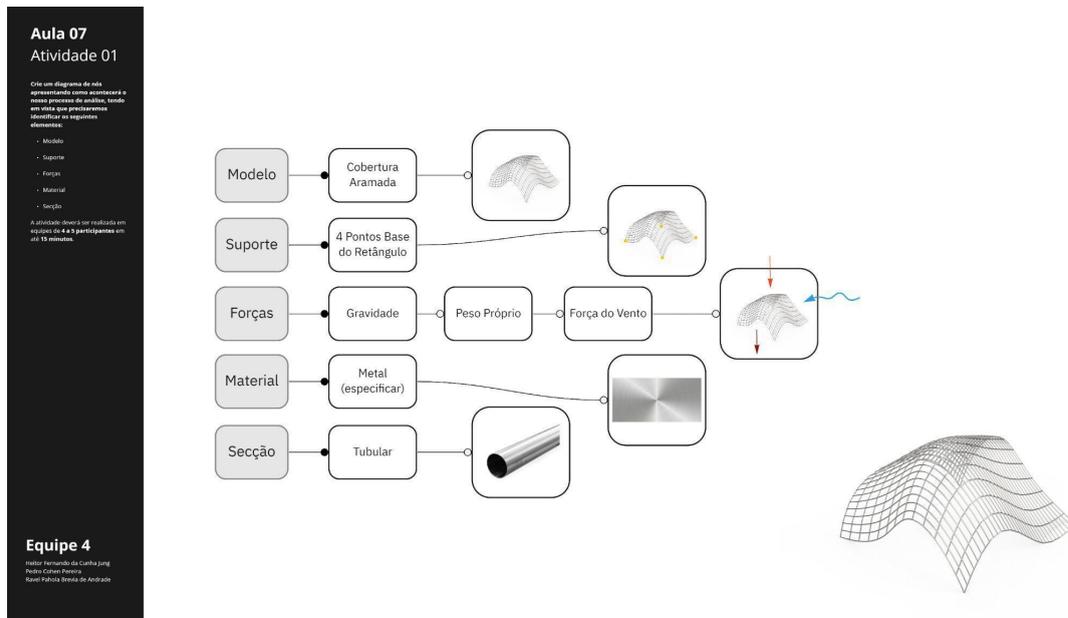
#### 3.3.7.1 Resultados da aula 7

Todos os grupos conseguiram concluir ambas as atividades práticas que foram implementadas. Contudo, foram percebidas dificuldades durante o processo de análise estrutural com o Karamba 3D, devido a incompatibilidades do plugin e alternância de versões. No primeiro exercício prático, os alunos conseguiram

realizar uma boa identificação dos elementos que iriam alimentar a análise estrutural, como pode ser visto na figura 37.

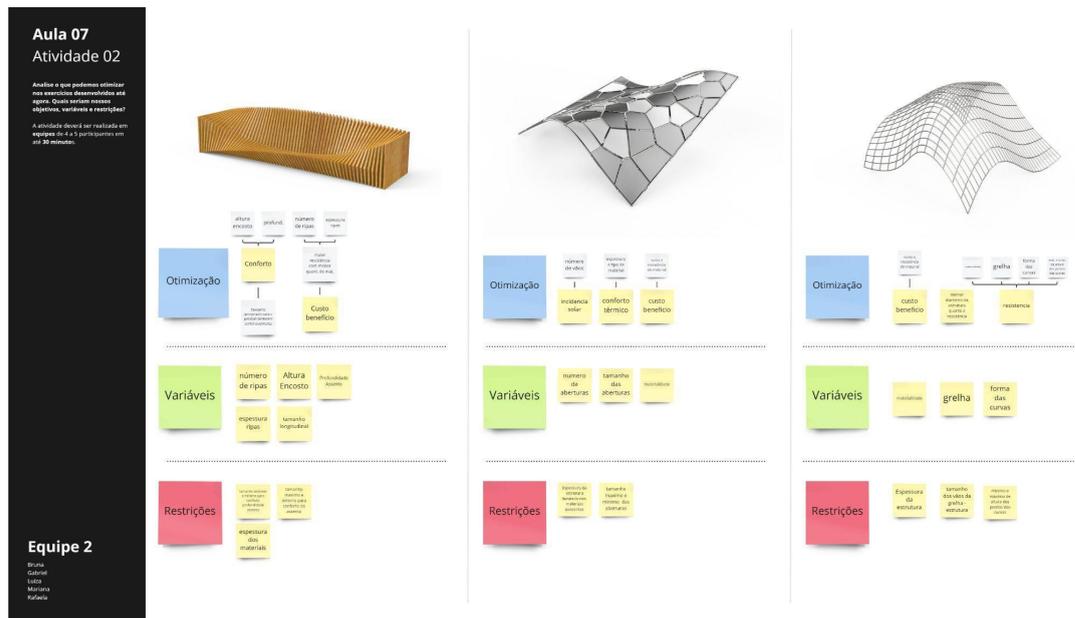
No segundo exercício prático foi percebido uma predisposição dos alunos a proporem otimizações de redução de custo e aumento de conforto. De modo geral, os alunos trabalharam com a otimização dos materiais, seja em sua escolha ou no número de peças empregado na estrutura, como também no desenho das coberturas para maximizar o conforto térmico.

**Figura 37 - Resultado da atividade prática 1 da aula 7**



Fonte: Heitor Fernando da Cunha Jung, Pedro Cohen Pereira e Ravel Pahola Brevia de Andrade (2021)

**Figura 38 - Resultado da atividade prática 1 da aula 7**



Fonte: Bruna Nogueira Cançado, Gabriel Kacperski Marques, Luiza Coimbra Alfonso, Mariana Severo Soares Duarte e Rafaela Rosa Belloto (2021)

### 3.3.7.2 Avaliação dos alunos da aula 7

Ao todo, 14 alunos responderam a avaliação da aula, sendo conferido a nota de 9.50 para as aulas teóricas, 9.30 para as atividades práticas, e 9.57 para a implementação no Grasshopper. Já na avaliação qualitativa de modo geral a maioria dos alunos destacou ter tido dificuldades com a instalação do plugin Karamba 3D, principalmente pela existência de duas versões (free e trial). Recomenda-se que em aplicações futuras da metodologia que seja dada preferência a versão free. Alguns alunos destacaram também que, devido às complicações do plugin, a última atividade prática teve seu tempo reduzido o que prejudicou a sua realização e absorção dos conceitos. Esse fato também é reforçado pela média recebida para as atividades práticas, consideravelmente mais baixa que nos dias anteriores.

### 3.3.8 Aula 8

Os princípios de otimização abordados anteriormente serviram de base para a aula oito. Familiarizados com a parametrização e sua manipulação com o intuito de maximizar ou minimizar resultados, os alunos foram apresentados ao conceito de algoritmos evolutivos. Para realizar a conceitualização da temática se traçou um paralelo com a teoria da evolução desenvolvida por Charles Darwin. Assim, foram apresentados como os fundamentos da seleção, cruzamento, hereditariedade e mutação ocorrem na natureza (QUADRO 18).

**Quadro 18 - Explicação do conteúdo teórico de algoritmos evolutivos**

Nome da aula:	Algoritmos evolutivos
Descritivo:	Paralelo traçado com a teoria da evolução de Darwin para aproximar os alunos dos conceitos utilizados nos algoritmos evolutivos.
Conteúdos abordados:	<ul style="list-style-type: none"><li>• Apresentação da teoria da evolução com o processo de otimização do ser a partir das suas relações com o meio ambiente em que está inserido.</li><li>• Apresentação dos conceitos de seleção natural (permanência do indivíduo com melhores características para aquele respectivo ambiente), cruzamento ( a troca de material entre indivíduos), hereditariedade ( a capacidade de características genéticas serem transferidas de progenitores para prole), e mutação ( a modificação de um gene fora do que era esperado).</li><li>• Provocação de como seleção, cruzamento, hereditariedade e mutação podem ser associados com os parâmetros do design algorítmico.</li></ul>

Como contrapartida prática (QUADRO 19), os alunos foram instigados a compor um entendimento sobre como os quatro conceitos de seleção, cruzamento, hereditariedade e mutação poderiam acontecer dentro de um projeto. Utilizando

como exemplo o próprio Grasshopper, cada grupo elaborou um mapa mental indicando essas relações, visando tentar entender como esses conceitos acabam recaindo sobre algoritmos evolutivos.

### Quadro 19 - Explicação da atividade prática 1 da aula 1

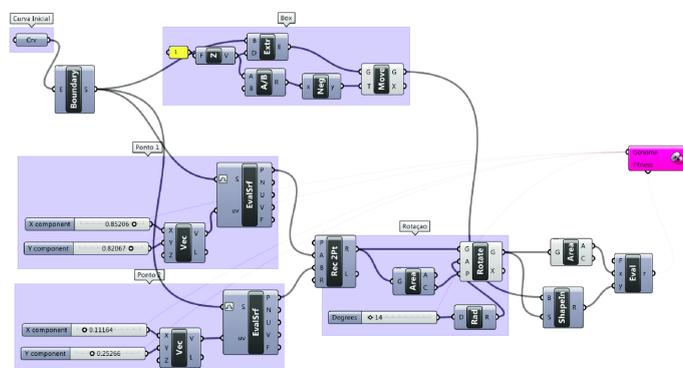
Nome da atividade:	<b>Aula 8 - Atividade 1: Mapa mental entre os fundamentos da evolução e o processo de projeto por design algorítmico e a otimização.</b>
Propósito:	Estimular os estudantes a criar suas próprias percepções sobre algoritmos evolutivos, visto que seu funcionamento tem como base a teoria da evolução.
Descrição da atividade:	<p>Realizem um mapa mental ou outro tipo de diagrama buscando associar os quatro fundamentos evolutivos aos processos de otimização no Grasshopper.</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>● Seleção</li> <li>● Cruzamento</li> <li>● Hereditariedade</li> <li>● Mutação</li> </ul> <p>A atividade deverá ser realizada em equipes de 4 a 5 participantes em até 15 minutos.</p>

Em seguida, em um grupo único com toda turma, foi pensado em como poderíamos desenhar um algoritmo que encontra automaticamente o desenho de um retângulo de modo a obter a área máxima possível dentro de um terreno qualquer, podendo esse ser regular ou curvo. Então, foi apresentado o algoritmo que soluciona esse problema e em conjunto foi explanado sobre o componente de algoritmo evolutivo Galápagos (anteriormente categorizado como um plugin do Grasshopper). Na lógica desenvolvida, a otimização acontece por meio da variação

da posição dos vértices do retângulo e da rotação deste dentro do terreno. A restrição implementada foi que a forma deveria estar contida dentro da geometria denominada como terreno. A imagem da lógica desenvolvida pode ser vista na figura 39, que apresenta todo o algoritmo com o Galapagos já implementado. A fim de priorizar a ferramenta Galapagos, seu funcionamento e restrições, uma grande parcela do tempo de aula foi dedicado a permitir o contato direto dos alunos com o mesmo.

**Figura 39 - Atividade computacional 1 da aula 8**

Exercício 4  
 Área máxima dentro de uma região



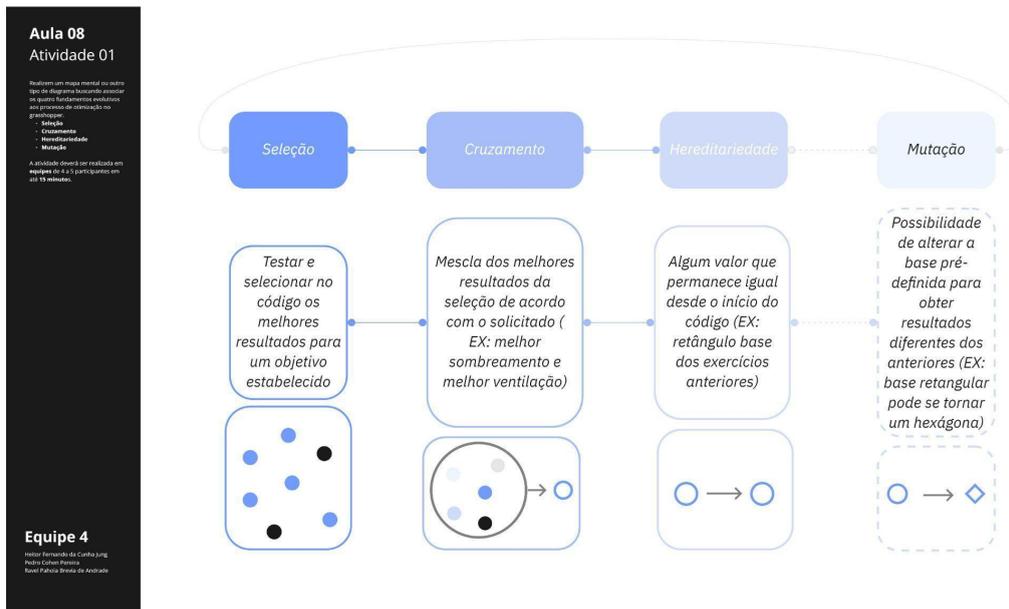
Workshop: Estratégias de otimização orientadas pela natureza em projetos de Design e de Arquitetura  
 Instrutora: Marina Pires

### 3.3.8.1 Resultados da aula 8

O exercício prático de desenvolver relações entre os princípios da evolução e o processo de otimização se apresentou como um desafio maior que as atividades implementadas nos outros dias de aula. Os alunos necessitam de um maior tempo para a execução da atividade e de orientações posteriores. O conceito de mutação foi o mais bem inferido pelos estudantes, seguido pelo de hereditariedade. Já o conceito de cruzamento se mostrou bastante confuso em quase todos os grupos, com apenas um a propor uma relação próxima a realidade do processo de algoritmo evolutivo. Ressalta-se que um dos grupos apresentou uma excelente percepção dos conceitos, como pode ser visto na figura 40. Apenas o conceito de hereditariedade

diverge do que é implementado no processo de algoritmo evolutivo. Na imagem é possível perceber, também, que os diagramas desenvolvidos pelo grupo para explicar os conceitos representaram com bastante fidelidade, mesmo no tópico de hereditariedade, o que ocorre no comportamento de otimização de um algoritmo evolutivo.

**Figura 40 - Resultado da atividade prática 1 da aula 8**



Fonte: Heitor Fernando da Cunha Jung, Pedro Cohen Pereira e Ravel Pahola Brevia de Andrade (2021)

### 3.3.8.2 Avaliação dos alunos da aula 8

12 alunos responderam ao questionário de avaliação da aula 8, considerando a aula teórica com nota 9.55 e a atividade prática com valor de 9.36. Já a atividade computacional de realização do algoritmo de otimização da área máxima do terreno recebeu nota 9.72. Quanto à análise qualitativa os alunos divergiram quanto a efetividade de relacionar os conceitos da teoria da evolução a otimização dos algoritmos evolutivos. Alguns estudantes expuseram os conceitos evolutivos como muito abstratos e houve recomendações para uma maior exemplificação desses. Contudo, foram recebidos também comentários acerca da

contribuição da definição dos conceitos para compreensão do processo, como pode ser visto no comentário abaixo.

“todas as atividades foram muito animadoras e ensinaram muito, desde a associação com a biologia até a utilização do programa, acredito que foi a melhor aula até hoje do workshop”

### 3.3.9 Aula 9

Fundamentando-se nos comentários recebidos ao final do encontro anterior, a aula 9 possui dois objetivos centrais: Reforçar a compreensão dos estudantes quando a otimização por meio dos algoritmos evolutivos e iniciar uma sistematização correlacionada de todos os conteúdos ministrados até o momento no curso.

Desse modo, a aula se iniciou com um exercício prático, no qual os grupos deveriam escolher uma das propostas de otimização elaboradas na aula sete e aprofundá-la. Os grupos deveriam identificar as variáveis e restrições de otimização no código e compreender como elas se conectam com o Galapagos. Além disso, deveriam propor como fariam a aferição do objetivo em questão. Por fim, deveriam analisar quais dos princípios da morfogênese poderiam ser reconhecidos no comportamento de desempenho estabelecido no algoritmo. A atividade está explanada no quadro 20 a seguir.

**Quadro 20 - Explicação da atividade prática 1 da aula 9**

<b>Nome da atividade:</b>	<b>Aula 9 - Atividade 1: Exercício de concepção projetual com a implementação de otimização no banco ripado</b>
Propósito:	Fomentar aos estudantes a construção de correlações entre os conceitos apresentados ao longo do curso.
Descrição da atividade:	Com base no exercício realizado para a elaborar possíveis processos

	<p>de otimização do banco, escolha um um dois objetivos dos possíveis de otimização e desenvolva-os com base no código elaborado em sala. O exercício será composto de três etapas:</p> <ol style="list-style-type: none"><li>1. Escolha um ou dois objetivos do estudo desenvolvido e elenque suas variáveis e restrições. Analise se essas são executáveis no código base, se sim, identifique-as, se não, estabeleça quais são necessárias a serem adicionadas ao algorítmico. Identificar também é perceber se essa variável está contida em algum dos sliders presentes no código.</li><li>2. Utilizando os post-it acrescente e/ou identifique na imagem do código, as variáveis e restrições que serão trabalhadas. Em seguida, insira um post-it denominado Galápagos e faça as ligações entre ele, as variáveis, as restrições e o objetivo.</li><li>3. Após desenvolver analogicamente o algoritmo de otimização, revise-o e analise quais dos seis princípios recorrentes da morfogênese são possíveis de serem reconhecidos no processo. Lembrando que os princípios são:<ul style="list-style-type: none"><li>• Crescimento</li><li>• Diversidade</li><li>• Adaptação</li><li>• Emergência</li><li>• Auto Organização</li><li>• Evolução.</li></ul></li></ol> <p>A atividade deverá ser realizada em equipes de 4 a 5 participantes em até 20 minutos.</p>
--	---

Posteriormente, a segunda parte da aula foi destinada a realizar um exercício prático de implementação do Galapagos. Para isso, foi retomado o algoritmo da cobertura de curvas, que havia passado pela análise estrutural do Karamba 3D. A superfície da cobertura era formada por quatro curvas curva aberta parabólica, e cada uma dessas construída com base em 4 pontos, 2 extremos,

estabelecidos como apoios para o Karamba 3D, e 2 posicionados ao meio, estabelecidos como variáveis para o Galapagos.

Desse modo, existiriam 8 variáveis para serem manipuladas pelo componente no processo de otimização. Como restrição se estabeleceu que nenhuma linha da estrutura deveria ter sua dimensão(comprimento) superior a um valor pré definido por cada estudante. Já no tocante ao objetivo, o Galapagos deveria buscar uma otimização que buscasse a menor energia de deformação e o menor número de peças.

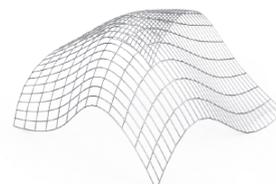
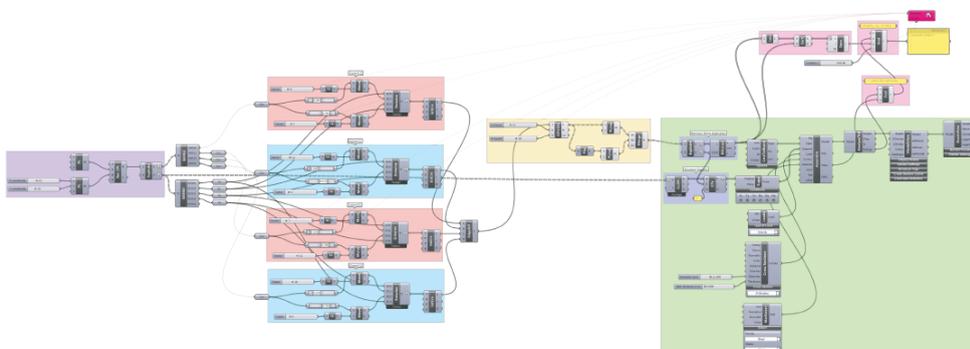
A escolha dessa função objetivo se deu pela oportunidade de apresentar aos discentes como combinar duas funções objetivo simultaneamente, visto que o Galapagos trabalha com apenas uma função objetivo. Para isso, foi utilizado o componente “*evaluate*” que realizou uma média ponderada entre os dois objetivos de otimização. Ressalta-se que a restrição também foi implementada por meio do componente “*evaluate*”, contudo se utilizando da função “*if*”. O algoritmo desenvolvido pode ser visto na figura 41.

Por fim, foi dedicado um tempo de aula para que os discentes pudessem experimentar alternativas dentro do código, como variar a configuração da malha da estrutura, possíveis mudanças de material e secção, ou mesmo diferentes valores de restrição.

### Figura 41- Atividade computacional 1 da aula 9

#### Exercício 3

ETAPA 3 - Cobertura Base com Karamba e Galapagos

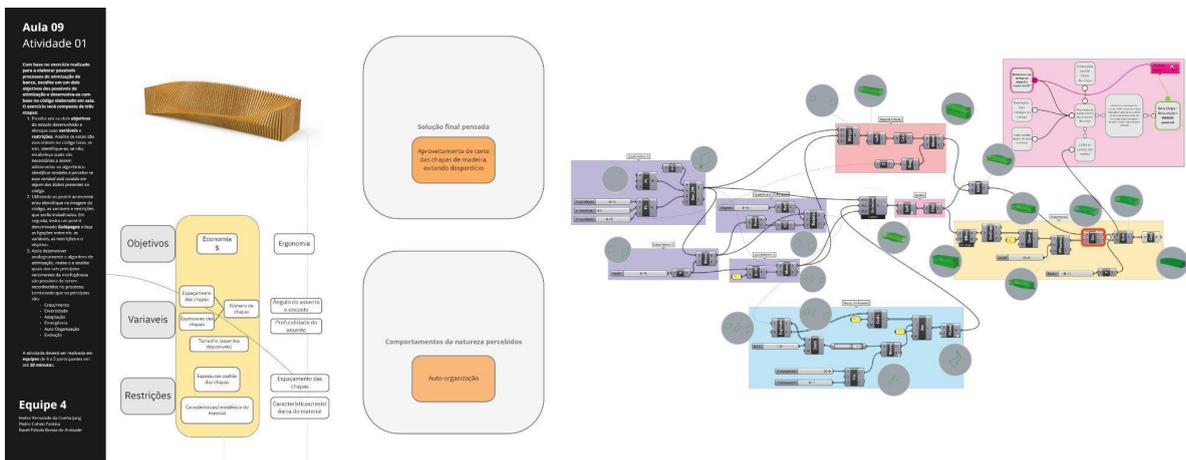


### 3.3.9.1 Resultados da aula 9

Com relação aos resultados obtidos pelos alunos na atividade prática, ressalta-se inicialmente que todos utilizaram o banco ripado como objeto para ser aprofundado. Dois grupos propuseram uma otimização de ergonomia, e outros dois grupos delimitaram uma melhoria de custo de produção. Ressalta-se, porém, que a primeira abordagem não se beneficiaria tanto de uma otimização por algoritmos evolutivos pois a validação proposta por eles foi baseada no fato de que o ângulo gerado entre o encosto e o assento deveria estar contido na faixa de conforto definida pela ergonomia.

Ressalta-se ainda que um dos grupos desenvolveu uma lógica de otimização de matéria prima que muito se assemelhou a estratégia de “nesting” utilizada na fabricação digital, como pode ser visto na figura 42 e no anexo H.

**Figura 42 - Resultado da atividade prática 1 da aula 9**



Fonte: Heitor Fernando da Cunha Jung, Pedro Cohen Pereira e Ravel Pahola Brevia de Andrade (2021)

### 3.3.9.2 Avaliação dos alunos da aula 9

Ao todo, 13 estudantes preencheram o questionário de avaliação da aula 9. Esses classificaram o exercício prático com nota 9.76 e a atividade realizada no grasshopper com valor de 9.75. Com base nesses dados, podemos inferir que houve uma melhora no aproveitamento dos conteúdos, principalmente, quando esses valores são comparados a aula 7 e 8. Igualmente, não houve relatos de dificuldades na análise qualitativa, ocorrendo ainda relatos positivos. Destaca-se dois desses:

“O exercício análogo de otimizar o banco auxiliou bastante a entender o que devemos considerar e com que função para fazer a otimização no galápagos.”

"A atividade analógica foi a mais complicada e complexa do workshop foi bastante difícil pensar na resolução, mas foi o que permitiu nós relacionarmos o que estamos fazendo com uma aplicação real, então foi bastante gratificante também”.

É possível inferir que apesar das complexidade do exercício prático proposto, ele se mostrou fundamental para a compreensão do conteúdo pelos alunos.

### 3.3.10 Aula 10

A última aula do curso teve como objetivo relembrar todos os conteúdos apresentados ao longo dos dias, e, principalmente, demonstrar como esses podem se relacionar e potencializar uns aos outros. Desse modo, foi realizado ao longo de 120 minutos uma atividade prática dedicada à idealização projetual em escala conceitual. Nesta, os estudantes deveriam escolher um desafio de sua escolha que pudesse se beneficiar do processo de otimização por algoritmos evolutivos e propor uma estratégia de solução. A atividade pode ser observada em detalhes no quadro 21. Além disso, foi fornecido um canva auxiliar a ser preenchido pelos alunos, que pode ser visto no anexo I. O restante do período de aula foi destinado a apresentação dos trabalhos e debate sobre os mesmos.

Vale salientar que devido a intensidade de conteúdo presente ao longo de todos os dias do curso, optou-se por concluir esse com uma revisão que aproximasse as temáticas de problemas reais dos estudantes.

### Quadro 21 - Explicação da atividade prática 1 da aula 10

<b>Nome da atividade:</b>	<b>Aula 10 - Atividade 1:Concepção projetual integrativa</b>
Propósito:	Incentivar os estudantes no desenvolvimento de uma prática projetual autoral que associasse todos os conteúdos apresentados durante o curso.
Descrição da atividade:	<p>Em grupo, escolham um problema que possa ser resolvido com o uso do projeto morfogenético, utilizando-se do design computacional, da otimização e dos modelos generativos.</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. Discutam qual problema será abordado e qual solução será desenvolvida.</li> <li>2. Preencham o primeiro quadro para definir todos os aspectos do projeto. Em seguida, discutam como esses podem ser relacionados.</li> <li>3. Utilize as cartas do kit de inovação do Instituto Biomimicry 3.8 para auxiliar em sua orientação.</li> <li>4. Elaborem a visualidade inicial do projeto a ser desenvolvido e em seguida estabeleçam os objetivos a serem alcançados pelo algoritmo.</li> <li>5. Definam os parâmetros e as relações existentes entre esses para alcançar os objetivos do código e da otimização desejada</li> <li>6. Elaborem um diagrama de nós do algoritmo do projeto desenvolvido. Lembrem-se de inserir o componente do Galapagos e estabelecer as relações entre ele, seu genoma e sua fitness.</li> </ol> <p>A atividade deverá ser realizada em equipes de 4 a 5 participantes em até 120 minutos.</p>

### 3.3.10.1 Resultados da aula 10

Foram desenvolvidas quatro propostas pelos grupos (com a ausência de alguns alunos dois se reuniram em um grupo só), todas com objetivos de otimização diferentes. As proposições foram: 1) a otimização estrutural para redução do peso de uma estrutura com maior eficiência energética, possibilitando-a ser carregada por poucas pessoas; 2) definição de tamanho, posição e rotação de brises com base na incidência solar e localização da edificação; 3) definir a localização e dimensão de abertura zenital visando o maior índice de iluminação com o menor custo possível; e 4) a customização de padrões em painéis acústicos para ambientes com necessidades acústicas variáveis.

Todas as equipes conseguiram propor processos de otimização viáveis, realizando a identificação de objetivos, variáveis e restrições. Além disso, desenharam um diagrama de nós de como o algoritmo iria se comportar e como o Galapagos seria conectado às respectivas variáveis dentro desse. Três das resoluções propostas pelos grupos podem ser vistas no anexo J.

### 3.3.10.2 Avaliação dos alunos da aula 10

8 alunos preencheram o questionário de avaliação da décima aula, o que representou um grande declínio na frequência de respostas. Os estudantes avaliaram o exercício com nota 9.5. Na análise qualitativa dos comentários foi percebido uma dificuldade na definição de uma problemática a ser abordada na atividade.

## 3.4 RESULTADOS GERAIS

### 3.4.1 Com base nos questionários diários

Todas as avaliações dos alunos tendo como referência os questionários diários foram condensadas na tabela 1 abaixo. Em seguida, foi realizada uma média geral, tanto das aulas teóricas, quanto dos dias de curso.

**Tabela 1 - Notas das avaliações diárias realizadas pelos alunos**

<b>Aulas</b>	<b>Teórica</b>	<b>Dinâmicas</b>	<b>Código</b>	<b>Média Geral</b>
<b>Aula 1</b>	9.22	9.29	-	9.26
<b>Aula 2</b>	9.58	9.70	-	9.64
<b>Aula 3</b>	9.40	9.58	9.69	9.56
<b>Aula 4</b>	-	9.42	9.63	9.53
<b>Aula 5</b>	-	9.68	9.83	9.76
<b>Aula 6</b>	-	9.80	9.81	9.81
<b>Aula 7</b>	9.50	9.30	9.57	9.46
<b>Aula 8</b>	9.55	9.36	9.72	9.54
<b>Aula 9</b>	-	9.76	9.75	9.76
<b>Aula 10</b>	-	9.50	-	9.50
<b>Média Geral</b>	9.45	9.54	9.71	<b>9.58</b>

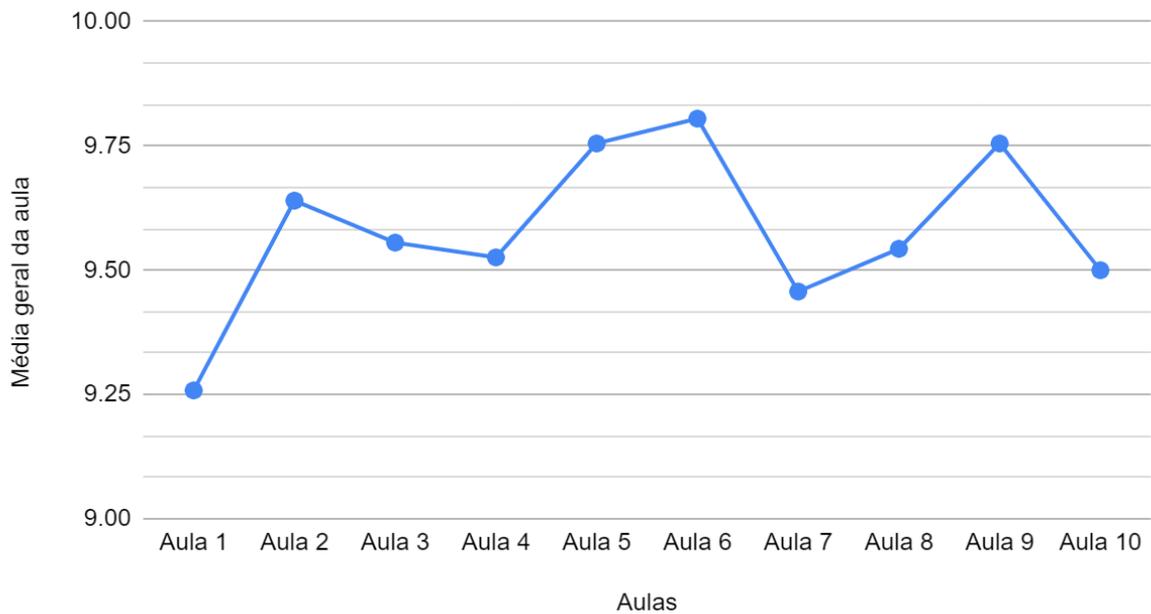
Quando avaliarmos as dinâmicas em cada uma de suas classes, é possível perceber que entre as atividades teóricas a aula 2, destinado a explicação da morfogênese e do design algoritmo recebeu melhor desempenho. Em seguida, destacou-se a aula do dia 8, sobre a temática dos algoritmos evolutivos. No tocante às atividades práticas, a aula 6 apresentou melhor desempenho com nota 9.80. Nessa foram realizadas as atividades de diagrama de nós da cobertura autoportante e a leitura e identificação do algoritmo de desenvolvimento dessa. Recorda-se que este mesmo exercício já havia recebido uma boa resposta nos comentários abertos do questionário. Em seguida, a aula 9, na qual foi realizado o exercício conceitual de otimização, recebeu a segunda maior nota da classe de atividades práticas, com

valor de 9.76. Já no segmento das atividades computacionais, os destaques foram para as aulas 5 e 6, com notas 9.83 e 9.81 respectivamente. É válido ressaltar que ambas as aulas foram destinadas a modelagem de coberturas.

É possível avaliar que as dinâmicas computacionais tiveram melhor desempenho, seguidas pelas atividades prático-práticas e por fim os conteúdos teóricos. Contudo, quando realizada a análise de desvio padrão dos valores há uma variação nessa classificação. Enquanto as dinâmicas computacionais permaneceram com o menor desvio padrão, com o valor de 0.09, as atividades práticas apresentaram o índice de 0.19, ao mesmo tempo que as atividades teóricas receberam o valor de 0.14. Assim, podemos inferir que as atividades práticas foram as que tiveram maior variação entre suas notas diárias e menor consistência.

Em uma avaliação geral, o dia de aula com melhor desempenho foi a aula 6, com nota de 9.81, seguido pelas aulas 9 e 6, ambas com avaliação de 9.76. Entre os valores das médias foi aferido o desvio padrão entre esses com o valor de 0.17. A variação entre os valores se torna mais evidente quando analisarmos o gráfico presente na figura 43. a maior divergência se apresenta na aula 1, todas as demais estão alocadas entre os valores aproximados de 9.50 e 9.75. Ainda, foi realizada uma média em cima das médias de cada dia de aula, obtendo-se a nota de 9.58.

**Figura 43 - Gráfico apresentando as médias de cada dia de aula**



### **3.4.1 Com base no questionário final**

Ao final do curso foi veiculado entre os alunos o questionário final de avaliação, que está disponível no anexo C. Neste, todas as atividades implementadas ao longo das aulas foram avaliadas quanto a sua influência no processo de aprendizado (considerando 0 como pouco influente e 5 como muito influente) e quanto a experiência no processo de aprendizagem (considerando 0 como muito negativa e 5 como muito positiva). Ao todo 11 alunos responderam a esse questionário e as médias de suas respostas podem ser visualizadas nas tabelas 2, 3, 4 e 5.

#### **3.4.1.1 Avaliação dos conteúdos teóricos**

De acordo com a tabela 2 é possível perceber que o conteúdo teórico com melhor desempenho geral foi de “princípios de otimização” com média de 4.77 e maior valor na influência no processo de aprendizado. O conteúdo de design algoritmo também se destacou com média 4.76, a segunda mais alta. É válido

ressaltar que essas haviam também sido as aulas com maior destaque durante as avaliações intermediárias apresentadas acima.

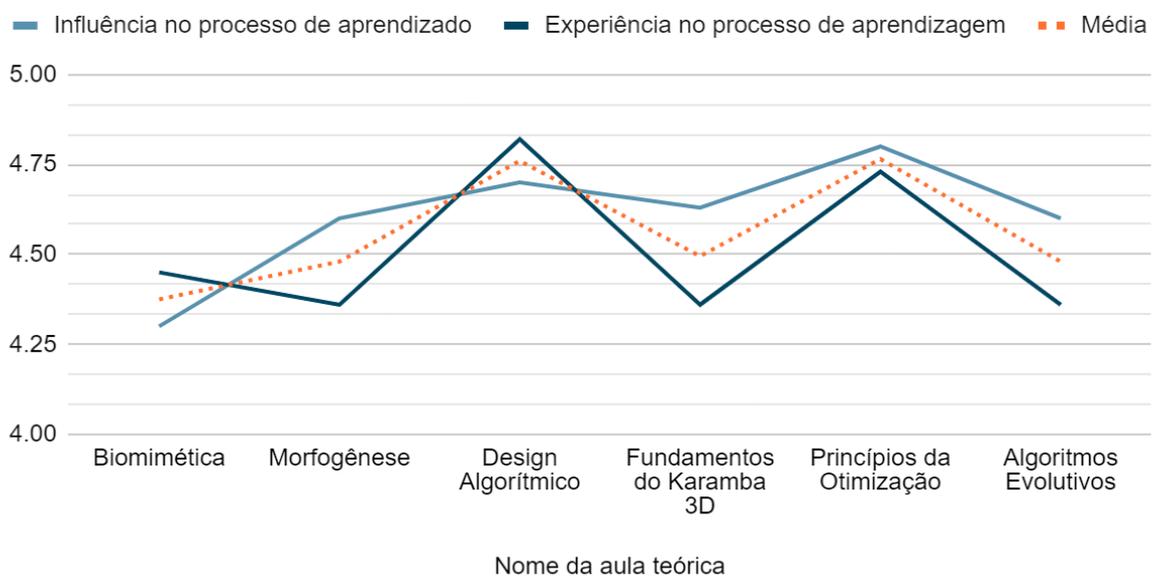
**Tabela 2 - Avaliação final das dinâmicas teóricas**

<b>Nome da aula teórica</b>	<b>Influência no processo de aprendizado</b>	<b>Experiência no processo de aprendizagem</b>	<b>Média</b>
<b>Biomimética</b>	4.3	4.45	4.375
<b>Morfogênese</b>	4.6	4.36	4.48
<b>Design Algorítmico</b>	4.7	4.82	4.76
<b>Fundamentos do Karamba 3D</b>	4.63	4.36	4.50
<b>Princípios da Otimização</b>	4.80	4.73	4.77
<b>Algoritmos Evolutivos</b>	4.6	4.36	4.48
<b>Média</b>	4.61	4.51	4.56

O conteúdo de biomimética foi o que recebeu pior avaliação na média geral e na influência no processo de aprendizado. Contudo, é válido ressaltar que quanto a experiência no processo de aprendizagem dos conteúdos de Algoritmos evolutivos, Fundamentos do Karamba 3D e Morfogênese apresentaram notas mais baixas. Duas hipóteses são possíveis de serem levantadas como causa para essa avaliação. A primeira, de que os conteúdos eram os mais desconhecidos pelos estudantes, como visto nas avaliações preliminares. A segunda, da necessidade de um maior número de exemplificações ao longo do conteúdo para contribuir com o processo de aprendizado.

Quando analisamos o gráfico da figura 44, que nos demonstra a plotagem dos valores da tabela 2, é possível perceber uma maior divergência entre os valores de influência e experiência no processo de aprendizado principalmente no conteúdo de “Fundamentos do Karamba 3D, como também nos de morfogênese e de algoritmos evolutivos. Paralelamente, é percebido uma maior convergência, especialmente, nos conteúdos de otimização e de design algorítmico.

**Figura 44 - Gráfico apresentando os valores de influência no processo de aprendizado, experiência no processo de aprendizado e a média desses para cada um dos conteúdos teóricos abordados**



#### 3.4.1.2 Avaliação das atividades práticas

A tabela 3 nos apresenta todas médias de avaliações dos estudantes para as atividades práticas desenvolvidas ao longo da oficina. As atividades não foram avaliadas individualmente, mas sim como um modelo de exercício, visto que algumas dessas foram aplicadas com frequência, como por exemplo o diagrama de nós dos códigos. Quanto a média geral, a atividade que recebeu maior destaque foi a de “Análise analógica do processo de funcionamento do código”, que consistia na

leitura e identificação das imagens dos algoritmos, com nota 4.91. Em seguida, a atividade “Diagrama de nós da lógica dos códigos desenvolvidos” recebeu o segundo maior valor com 4.90. Já a terceira atividade com maior destaque foi “Debate sobre a lógica do código com base nas pranchas explicativas” com 4.87.

**Tabela 3 - Avaliação final das práticas**

<b>Nome da atividade prática</b>	<b>Influência no processo de aprendizado</b>	<b>Experiência no processo de aprendizagem</b>	<b>Média</b>
Mapa mental sobre Natureza & Projeto	4.71	4.73	4.72
Proposição projetual com as cartas do Biomimicry 3.8	4.67	4.64	4.66
Diagrama de nós da receita de bolo	4.88	4.82	4.85
Diagrama de nós da lógica dos códigos desenvolvidos	4.8	5	4.9
Debate sobre a lógica do código com base nas pranchas explicativas	4.73	5	4.87
Análise analógica do processo de funcionamento do código	4.82	5	4.91
Correlação dos fundamentos do Karamba 3D com a cobertura	4.78	4.55	4.67
Exploração dos processos de otimização, com base nos projetos do banco e das coberturas	4.88	4.27	4.58
Mapeamento dos princípios evolutivos	4.88	4.55	4.72

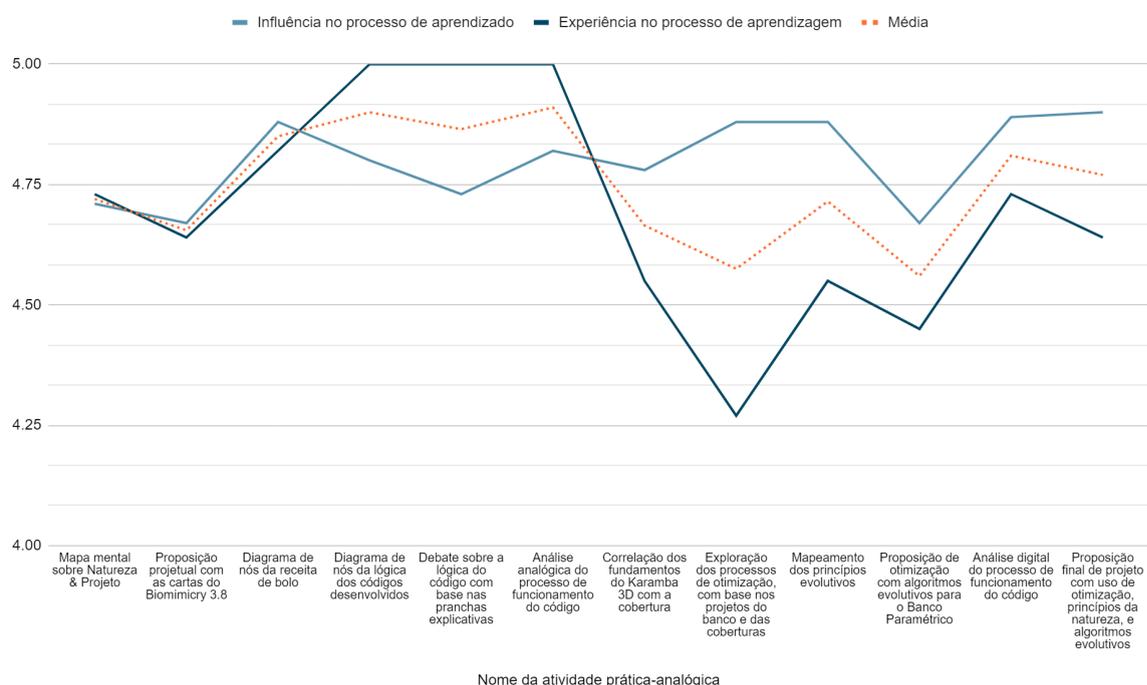
Proposição de otimização com algoritmos evolutivos para o Banco Paramétrico	4.67	4.45	4.56
Análise digital do processo de funcionamento do código	4.89	4.73	4.81
Proposição final de projeto com uso de otimização, princípios da natureza, e algoritmos evolutivos	4.9	4.64	4.77
Média	4.80	4.70	4.75

Paralelamente, o exercício com menor desempenho foi “Proposição de otimização com algoritmos evolutivos para o Banco Paramétrico” com avaliação de 4.56. Curiosamente, durante as análises intermediárias, essa atividade havia se destacado com a segunda maior avaliação entre os exercícios práticos- práticos.

É necessário salientar que os três exercícios que obtiveram os melhores desempenhos médios, também receberam nota máxima quanto a experiência no processo de aprendizado, e que a aplicação dessas três atividades consistia em uma das hipóteses desta pesquisa.

Quando analisamos o gráfico presente na figura 45, percebemos que as os modelos de atividades práticas apresentam maior divergência entre a influência e a experiência no processo de aprendizado. Em linhas gerais, é percebido que com a complexificação das atividades os índices de experiência sofrem uma queda intensa, passando em seguida a apresentar declínios nas atividades de prática projetual.

**Figura 45 - Gráfico apresentando os valores de influência no processo de aprendizado, experiência no processo de aprendizado e a média desses para cada um dos modelos de atividades práticas**



Ainda com relação ao gráfico da figura 45, a atividade “Exploração dos processos de otimização, com base nos projetos do banco e das coberturas” possui a pior nota de experiência no processo de aprendizado, mas paralelamente, possui um dos mais altos índices de influência.

### 3.4.1.3 Avaliação dos exercícios computacionais

A tabela 4 nos apresenta todas as avaliações das atividades computacionais desenvolvidas ao longo do curso. De modo geral, o exercício “Cobertura com Graph Mapper e Voronoi” apresentou o melhor resultado médio, com nota 4.96. Em seguida as atividades com melhor desempenho, com nota 4.91 foram “Banco Finalizado” e “Cobertura com Graph Mapper”.

**Tabela 4 - Avaliação final dos exercícios computacionais**

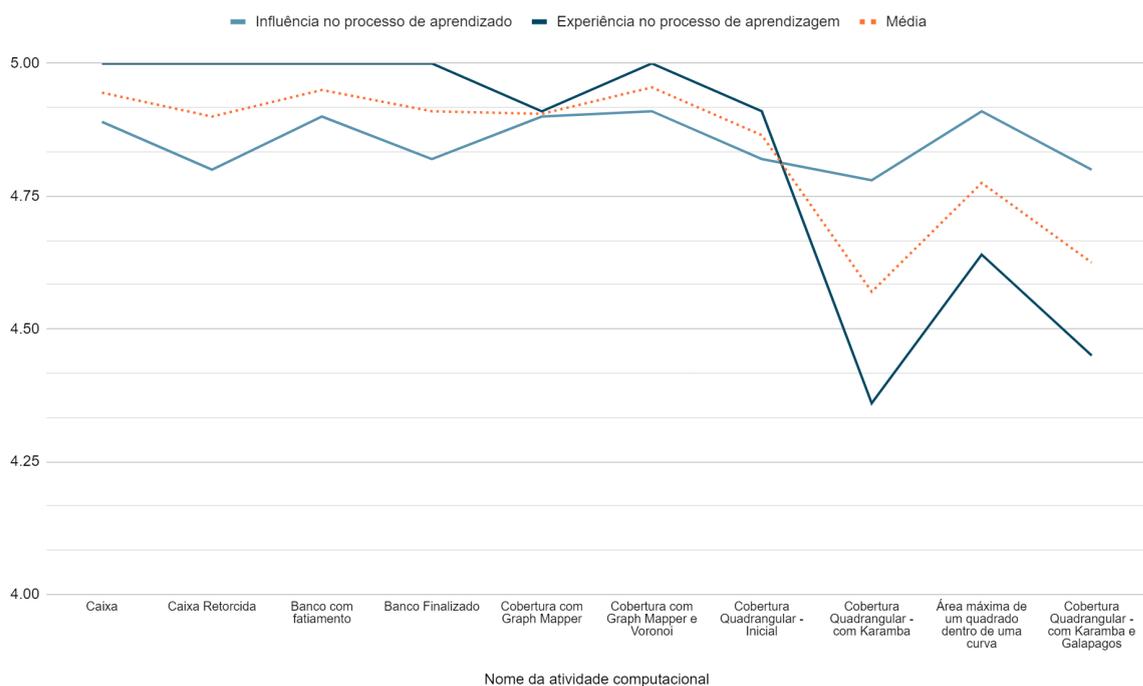
<b>Nome do exercício</b>	<b>Influência no processo de aprendizado</b>	<b>Experiência no processo de aprendizagem</b>	<b>Média</b>
Caixa	4.89	5	4.95
Caixa Retorcida	4.8	5	4.90
Banco com fatiamento	4.9	5	4.95
Banco Finalizado	4.82	5	4.91
Cobertura com Graph Mapper	4.9	4.91	4.91
Cobertura com Graph Mapper e Voronoi	4.91	5	4.96
Cobertura Quadrangular - Inicial	4.82	4.91	4.87
Cobertura Quadrangular - com Karamba	4.78	4.36	4.57
Área máxima de um quadrado dentro de uma curva	4.91	4.64	4.78
Cobertura Quadrangular - com Karamba e Galapagos	4.8	4.45	4.63
<b>Média</b>	<b>4.853</b>	<b>4.827</b>	<b>4.84</b>

Como demonstrado na tabela 4, as atividades computacionais apresentaram a menor discrepância entre os valores médios de influência e experiência no processo de aprendizado. Quando comparamos os valores com os demais tipos de atividade, conteúdos teóricos e atividades práticas, os exercícios desenvolvidos no Grasshopper também apresentam o melhor desempenho.

Os exercícios com melhor performance quanto a influência no processo de aprendizado foram “Cobertura com Graph Mapper e Voronoi” e “Área máxima de um quadrado dentro de uma curva”. Contudo, simultaneamente, o exercício de análise de área máxima recebeu uma das avaliações mais baixas quando a experiência no processo de aprendizado.

Quando conduzimos nossa análise para o gráfico presente na figura 46 é possível perceber que esse possui o mesmo comportamento do gráfico presente na figura 45. Contudo o declínio presente no gráfico da figura 46 pode ser justificado pelos problemas técnicos apresentados em aula pelo plugin de otimização.

**Figura 46 - Gráfico apresentando os valores de influência no processo de aprendizado, experiência no processo de aprendizagem e a média desses para cada uma das atividades computacionais**



A performance do gráfico (figura 46) também pode ser justificada pelo conhecimento prévio dos participantes do curso com a ferramenta utilizada. Assim, à

medida que novos conteúdos foram introduzidos, passamos a ter dificuldades na experiência de aprendizagem, mas uma manutenção nos valores de influência.

Quando comparamos os últimos dois exercícios realizados, ambos voltados à implementação dos algoritmos evolutivos, é possível perceber que o primeiro código teve maior aceitação e aproveitamento. Assim, podemos inferir que a implementação de códigos mais simplificados para apresentação de conceitos complexos pode auxiliar no processo de compreensão. Destaca-se que a conceitualização teórica do assunto, como apresentado na tabela 2, havia obtido um desempenho mais baixo que as demais.

#### 3.4.1.4 Avaliação geral da metodologia

Por fim, o final do questionário foi destinado a uma avaliação geral da metodologia implementada no curso. As médias de respostas objetivas estão presentes no quadro 22. A escala utilizada para as perguntas se considerou a nota "0" como "não havendo contribuição" e 5 como "contribuição fundamental" no processo de aprendizado dos alunos ao longo do curso.

**Quadro 22 - Média de respostas das perguntas gerais sobre a metodologia implementada no curso**

Pergunta	Avaliação dos estudantes
Você considera que a adoção de exercícios pequenos contribuiu para o seu processo de aprendizado?	4.82
Você considera que a adoção de exercícios inicialmente simples, mas que gradativamente, ganharam complexidade, contribuiu para o seu processo de aprendizado?	4.91
Você considera que as atividades práticas contribuíram para a sua compreensão dos exercícios computacionais?	4.91

Você considera que o método: iniciar o processo de compreensão do algoritmo com o diagrama de nós, em seguida realizar a discussão sobre o funcionamento do código e por fim o desenvolvimento desse no grasshopper, contribuiu para o seu processo de aprendizado?	4.91
Você considera que o método para realização de um código composto por: visualizar o projeto, estabelecer o objetivo do código, elencar os parâmetros e suas respectivas relações entre esses e desenhar o algoritmo de nós do processo do algoritmo, contribuiu para o seu processo de aprendizado e desenvolvimento dos códigos?	4.91
Você considera que o canvas apresentado no exercício final contribuiu e facilitou o seu processo projetual?	4
Você considera que o uso da ferramenta Miro contribuiu para o seu processo de aprendizado?	4.91
Você considera que o uso da ferramenta Miro contribuiu para uma experiência de ensino remoto próxima a existente no ensino presencial?	4.73

Com base nos dados apresentados acima, é percebido que a adoção de exercícios “pequenos” foi bem aceita pelos estudantes. Já a adoção de atividades simples com ganho gradativo de complexidade teve uma excelente resposta dos alunos, assim como o uso das atividades práticas para auxiliar na compreensão dos exercícios computacionais. O fluxo didático proposto, baseado em iniciar o processo de compreensão do algoritmo com o diagrama de nós, em seguida realizar a discussão sobre o funcionamento do código e por fim o desenvolvimento desse no grasshopper; também obteve uma alta resposta positiva quando a sua contribuição no processo de aprendizado.

Ainda, a sequência de passos proposta para realização de um projeto computacional, composta por: visualizar o projeto, estabelecer o objetivo do código, elencar os parâmetros e suas respectivas relações entre esses e desenhar o algoritmo de nós do processo do algoritmo; foi validada como contribuição fundamental por quase todos os alunos, obtendo média geral de 4.91 (QUADRO 22).

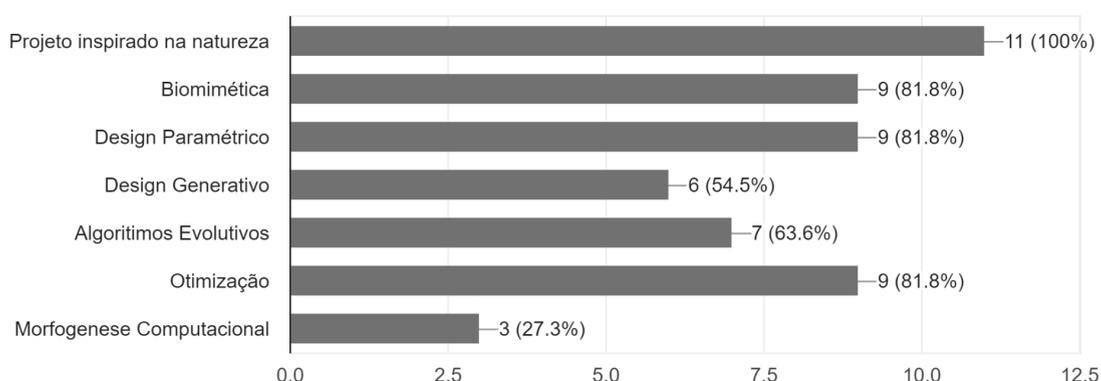
Ainda, o uso do Miro foi bem recebido pelos alunos. Esses demonstraram que a ferramenta teve grande contribuição no seu processo de aprendizado e auxiliou em aproximar a experiência do ensino remoto com aquela existente no ensino presencial (QUADRO 22).

Por fim, o Canvas desenvolvido, e aplicado na última aula, obteve a avaliação 4 na escala utilizada. Assim, é percebido que o mesmo contribuiu para o processo de aprendizado, mas precisa ser revisto e melhorado.

Quanto à classificação das expectativas dos estudantes para com o curso, considerou-se como “0” caso o curso não tivesse atendido a nenhuma expectativa e em “5”, caso tivesse atendido todas as expectativas. A avaliação dos discentes foi 9.64.

Os estudantes foram questionados ainda sobre quais conceitos pretendiam seguir utilizando em sua prática projetual (FIGURA 47). Apesar dos dados apresentados anteriormente sobre seu desempenho, a temática dos projetos inspirados pela natureza recebeu o maior destaque quanto ao interesse dos estudantes. Em seguida, os temas da biomimética, do design paramétrico e da otimização foram os mais citados por esses. A morfogênese apresentou o menor índice, o que nos leva a inferir uma necessidade de repensar sua apresentação de forma a torná-la mais acessível para os estudantes.

**Figura 47 - Gráfico sobre as temáticas que os estudantes pretendiam continuar adotando em sua prática projetual**



O final do questionário foi composto por duas perguntas abertas, a primeira encorajava os alunos a relatar se haviam sentido dificuldade e quais haviam sido essas. A segunda, era um espaço aberto para comentários e sugestões. Todas as respostas podem ser visualizadas no anexo K.

Os alunos relataram que à medida que os exercícios se tornaram mais complexos houve um aumento nas dificuldades sentidas. Esse fato se deu a partir da implementação da análise estrutural. Houveram relatos também quanto à temática da implementação da otimização e dos algoritmos evolutivos.

Quanto aos comentários, o relato principal dos estudantes foi a cerca da carga de conteúdo ao longo dos dias. Esses apresentaram a percepção de terem aprendido muito em pouco tempo, mas, simultaneamente, apresentaram que um teriam maior aproveitamento da aprendizagem em um curso mais longo.

#### 4. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Este presente trabalho teve como objetivo desenvolver, implementar e avaliar uma proposta de estratégia pedagógica que contemplasse o ensino do projeto computacional orientado pela natureza por meio de algoritmos evolutivos, e por consequência de modelo de desempenho, na instância de Ensino Remoto.

A estratégia de ensino foi elaborada com base em três pilares:

1. A apresentação gradual do conteúdo (ROMCY, 2017);
2. O uso de exercícios práticos como suporte didático para compreensão das lógicas implementadas;
3. A utilização e ensino de conceitos da natureza como meio de introduzir e definir os modelos generativos e de desempenho.

Com base nos princípios acima foram desenvolvidas as seguintes estratégias:

- A adoção de exercícios pequenos;
- A adoção de exercícios inicialmente simples, mas que gradativamente, ganharam complexidade;
- Desenho de atividades práticas para a compreensão dos exercícios computacionais;
- Fluxo didático composto por iniciar o processo de compreensão do algoritmo com o diagrama de nós, em seguida realizar a discussão sobre o funcionamento do código e por fim o desenvolvimento desse no grasshopper;
- Aplicação da sequência lógica seguinte para o desenvolvimento de algoritmos: visualizar o projeto, estabelecer o objetivo do código, elencar os parâmetros e suas respectivas relações entre esses e desenhar o algoritmo de nós do processo do algoritmo;

- Desenvolvimento de *Canvas* auxiliares para o processo de projeto, incentivando o uso da otimização, da morfogênese e dos algoritmos evolutivos;
- Uso de um programa que simulasse o mais próximo possível as interações de aula possíveis no ensino presencial.

A estratégia desenvolvida foi implementada na forma de um curso de ação de extensão realizado com 22 participantes, dos quais 18 concordaram em contribuir com a pesquisa.

Após aplicação da estratégia e análise dos dados coletados nessa por meio de observações e aplicação de questionários é possível concluir que a estratégia proposta, assim como suas respectivas atividades, é efetiva. Destaca-se que algumas das aulas teóricas precisam ser revistas para a implementação de um maior número de exemplos a fim de facilitar a absorção dos conteúdos pelos alunos. Ainda, é recomendado que em aplicações futuras exista um espaçamento maior entre as aulas, pois foi percebido que a frequência das aulas (10 dias corridos) para um conteúdo tão complexo prejudicou os alunos.

Além disso, é aconselhável rever o conteúdo da segunda semana da estratégia, visto que essa obteve um desempenho médio inferior à primeira. É válido experimentar aumentar a carga horária desse período, ampliando o número de atividades, principalmente, para inserção de exercícios simples semelhantes ao exercício de otimização do terreno, buscando assim uma curva mais gradual no processo de aprendizado.

É válido também ressaltar que, após a aplicação do curso, foi desenvolvido uma derivação da estratégia dessa pesquisa de modo a possibilitar sua aplicação em cargas horárias reduzidas. Para essa, foram selecionadas apenas os conteúdos de design algorítmico, otimização e algoritmos evolutivos. Sua aplicação já foi realizada em 3 turmas diferentes, com um total aproximado de 160 alunos e uma ótima recepção desses.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

BAHARLOU, E. **Generative agent-based architectural design computation: Behavioral strategies for integrating material, fabrication and construction characteristics in design processes.** Stuttgart, 2017. 274 f. Dissertação (Mestrado em Arquitetura) - Institute of Computational Design.

BAHARLOU, E; MENGES, A. Generative agent-based design computation: integrating material formation and construction constraints. *Computation and Performance. Anais [...] In: Proceedings of the 31th ECAADE Conference.* Delft, Netherlands: Technical University of Delft, 2013.

Bardin, L.(2011). **Análise de conteúdo.**São Paulo: Edições 70.

BENYUS, J. M. **Biomimética: inovação inspirada pela natureza.** 7 ed. São Paulo: Cultrix, 2013.

BOLLINGER, K.; GROHMANN, M. **Workflow: architecture - engineering.,** Basel:Birkhauser, 2004

BONABEAU, E. Agent-based modeling: Methods and techniques for simulating human systems. **Proceedings Of The National Academy Of Sciences,** [s.l.], v. 99, n. 3, p.7280-7287, 14 maio 2002.. <http://dx.doi.org/10.1073/pnas.082080899>.

BROECK, F. V. O uso de analogias biológicas. **Revista Design e Interiores.** São Paulo, n.15, p. 97-100, 1989.

CARVALHO, G. G. S.. **MORFOGÊNESE COMPUTACIONAL:: da bio-inspiração ao biodesign.** 2019. 235 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Faculdade de Engenharia Civil, Arquitetura e Urbanismo, Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2019.

DE LANDA, M. **A thousand years of nonlinear history.** Nova York: Swerve Editions, 2000.

DE LANDA, M. Material Complexity. *In: LEACH, N.; TURNBULL, D.; WILLIAMS, C. Digital Tectonics,* London: Wiley, 2004, p. 14-21

DETANICO, F. B. **SISTEMATIZAÇÃO DE PRINCÍPIOS DE SOLUÇÃO DA NATUREZA PARA APLICAÇÃO NO PROCESSO CRIATIVO DO PROJETO DE PRODUTOS**. 2011. 191 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Programa de Pós-Graduação em Design, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2011.

FAGUNDES, C. M. F. **Sistema generativo como ferramenta de otimização no processo exploratório do design de produto**. 2019. 118 f. Dissertação (Mestrado em Design) – Escola de Engenharia / Faculdade de Arquitetura, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2019.

GILBERT, G. **Agent-Based Models** (Quantitative Applications in the Social Sciences). Los Angeles: SAGE Publications, 2007.

GERHARDT, T. E.; SILVEIRA, D. T. **Métodos de pesquisa**. Porto Alegre: Editora da UFRGS, 2009.

GOMES, L. V.N; SCHEID, H. S.; OLIVEIRA, A. Biomimética: Estudo de Estruturas Naturais para Desenho de Produtos, In: ARRUDA, A, J, V. **Métodos e Processos em Biônica e Biomimética: a Revolução Tecnológica pela Natureza**. São Paulo: Blucher, 2018. p. 51-84.

HEMENWAY, P. **Divine Proportion: (Phi) in Art, Nature and Science**. 1 ed. Nova York: Sterling, 2005.

HOFFMANN, D. **Understanding Frank Lloyd Wright's Architecture**, 1 ed. New York, USA : Dover Publications, INC, 1995.

HOLLAND, J. H. Studying Complex Adaptive Systems. **Journal Of Systems Science And Complexity**, [s.l.], v. 19, n. 1, p.1-8, mar. 2006. Springer Science and Business Media LLC. <http://dx.doi.org/10.1007/s11424-006-0001-z>.

HSUAN-AN, T. Método de Análise Bônica no Ensino de Design e Arquitetura, In: ARRUDA, A, J, V. **Métodos e Processos em Biônica e Biomimética: a Revolução Tecnológica pela Natureza**. São Paulo: Blucher, 2018. p. 35-50.

JODIDIO, P. **The New Pavilions**. Londres: Thames & Hudson Ltd, 2016.

JOHNSON, Steven. **Emergência**: a vida integrada de formigas cérebros, cidades e softwares; 1 ed. Rio de Janeiro: Zahar, 2003.

KINDLEIN JÚNIOR, W.; GUANABARA, A. S.; SILVA, E. A. da.; PLATCHECK, E. R. Proposta de Uma Metodologia para o Desenvolvimento de Produtos Baseados no Estudo da Biônica. In: **ANAIS DO P&D DESIGN 2002** – 1o Congresso Internacional de Pesquisa em Design. 5o Congresso Brasileiro de Pesquisa e Desenvolvimento em Design. Associação de Ensino de Design do Brasil (Textos referentes à sessão técnica Metodologias). Vol. 7. Rio de Janeiro: AEnD-BR, 2002.

LEACH, N. Digital Morphogenesis. **Architectural Design**, [S.L.], v. 79, n. 1, p. 32-37, jan. 2009. Wiley. <http://dx.doi.org/10.1002/ad.806>.

LEACH, N. Matter matters: a philosophical preface. In: Active matter. Massachusetts: Massachusetts Institute Of Technology, 2020. Cap. 1, p. 18-21.

MENGES, A. **Computational Morphogenesis: Integral Form Generation and Materialization**. Em'body'ing Virtual Architecture. Anais... In: THE 3RD INTERNATIONAL CONFERENCE OF THE ARAB SOCIETY FOR COMPUTER AIDED ARCHITECTURAL DESIGN (ASCAAD). Alexandria, Egypt: The Arab Society for Computer Aided Architectural Design, 2007

MENGES, A. Integral Formation and Materialization: Computational Form and Material Gestalt. In: Manufacturing Material Effects: Rethinking Design and Making in Architecture. Taylor & Francis Books (New York): Routledge, 2008. p. 195–210.

MENGES, A. **Integral Computational Design: Biomimetics in Architecture**. Stuttgart, 2009.

MENGES, A.; WEINSTOCK, M.; HENSEL, M. **Emergent Technologies and Design: Towards a Biological Paradigm for Architecture**. 270 Madison Avenue, New York: Routledge, 2010.

MITCHELL, M. **Complexity: A Guided Tour**. 1 ed. Nova York: Oxford University Press, 2009.

MITCHELL, Melanie. **Artificial Intelligence: A guide for thinking humans**. Nova York: Farrar, Straus And Giroux, 2019.

Norman, F. Towards a Paperless Studio. *In: PROCEEDINGS OF THE ARCC SPRING RESEARCH MEETING ARCHITECTURAL RESEARCH CENTERS CONSORTIUM. Anais [...].* The College of Architecture and Urban Studies at Virginia Tech, Blacksburg, Virginia, 2001.

OXMAN, N. Material Ecology. *In: OXMAN, R.; OXMAN, R. (Eds.). Theories of the Digital in Architecture.* London: Routledge, 2014, p. 319-326

OXMAN, R. Digital architecture as a challenge for design pedagogy: theory, knowledge, models and medium. **Design Studies**, [S.l.], v. 29, n. 2, p. 99-120, 2008.

OXMAN, R. Informed tectonics in material-based design. **Design Studies**, [S.L.], v. 33, n. 5, p. 427-455, set. 2012. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.destud.2012.05.005>.

OXMAN, R; OXMAN, R. **Theories of digital in architecture.** Nova York: Routledge, 2014.

OXMAN, R. Thinking difference: theories and models of parametric design thinking. **Design Studies**, [S.L.], v. 52, p. 4-39, set. 2017. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.destud.2017.06.001>.

PALOMBINI, F. L. **Design de estrutura biônica através de prototipagem e análise por elementos finitos baseada em microtomografia do bambu.** 2016. 106 f. Dissertação (Mestrado em Design) – Escola de Engenharia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2016.

RAMOS, J. Biônica e Biomimética: A Evolução do Uso de Analogias Naturais – Possíveis Contribuições na Busca da Sustentabilidade Ambiental,. *In: ARRUDA, A, J, V. Métodos e Processos em Biônica e Biomimética: a Revolução Tecnológica pela Natureza.* São Paulo: Blucher, 2018, p. 110-118..

PAZMINO, A. V. Fundamentos da Biônica e da Interdisciplinaridade como Meio para o Fortalecimento da Biônica e Biomimética nos Cursos de Design *In: ARRUDA, A, J, V. Métodos e Processos em Biônica e Biomimética: a Revolução Tecnológica pela Natureza.* São Paulo: Blucher, 2018. p. 84-100.

PFEIFFER, B. B. **Frank Lloyd Wright, 1867-1959**:: building for democracy. Colônia: Taschen, 2004. (Taschen: Basic Architecture).

ROMCY, N. M. E. S. **Abordagem Paramétrica e Ensino de Projeto: Proposição de Diretrizes Metodológicas, considerando estratégias curriculares e o atelier de projeto**. Tese (Doutorado em Arquitetura e Urbanismo). Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal, 2017.

ROUDAUSKI, S. Towards Morphogenesis in Architecture. **International Journal of Architectural Computing**, v. 7, n. 3, p. 345-374, 2009

SAMPIERI, R. H.; COLLADO, C. F.; LUCIO, M. P. B. **Metodologia de pesquisa**. 5 ed. Porto Alegre: Penso, 2013.

SCHÖN, D. A. **The reflective practitioner**: how professionals think in action. New York: Basic Books, 1983.

SILVA, L. S. **Design paramétrico a partir da digitalização 3D de geometrias da natureza com padrão de crescimento espiral**. Dissertação (Mestrado em Design) – Escola de Engenharia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2017.

SILVA, Á. C. **INFERÊNCIAS SOBRE A INSERÇÃO INCREMENTAL DE MODELAGEM PARAMÉTRICA NO PROCESSO DE PROJETO EM ARQUITETURA COM ABORDAGEM BIOMIMÉTICA**:: cognição e forma. 2020. 145 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Faculdade de Arquitetura e Urbanismo e Design, Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia, 2020.

SOARES, T. L. F.; ARRUDA, A. J. V. de. Fundamentos da Biônica e da Biomimética e Exemplos Aplicados no Laboratório de Bidesign na UFPE, In: ARRUDA, A, J, V. **Métodos e Processos em Biônica e Biomimética: a Revolução Tecnológica pela Natureza**. São Paulo: Blucher, 2018. p. 7-34.

TEDESCHI, A. **AAD\_Algorithms-Aided Design**: Parametric Strategies using Grasshopper. Itália: Le Penseur, 2014.

THORNE-THOMSEN, P. **Frank Lloyd Wright for Kids: His Life and Ideas, 21 Activities (For Kids series)**. 2ed. Estados Unidos da América: Chicago Review Press, 2014.

## ANEXO A

### Questionário Preliminar - Estratégias de otimização orientadas pela natureza em projetos de Design e de Arquitetura

---

Este questionário faz parte da pesquisa de dissertação de mestrado da aluna Marina Pires de Castro Aguiar Vale, intitulada "Contribuições pedagógicas para o ensino da morfogênese computacional aplicada em projetos de Design e Arquitetura", e vinculada ao Programa de Pós Graduação em Design da Universidade Federal do Rio Grande do Sul. As perguntas deverão ser respondidas em aula no primeiro dia do curso, em um tempo previsto para seu preenchimento, antes da apresentação do conteúdo.

#### 1. Qual a sua cidade e seu estado?

Sua resposta:

---

#### 2. Qual a sua idade?

Sua resposta:

---

#### 3. Qual a sua área? Você pode marcar quantas opções desejar.

- Design de Produto
  - Design Gráfico
  - Arquitetura de Interiores
  - Arquitetura
  - Urbanismo
  - Outro:
- 

#### 4. Em qual categoria você se enquadra?

- Aluno de Graduação
  - Aluno de Pós Graduação
  - Profissional
  - Professor
  - Outro:
- 

**Se você escolheu "graduação", responda:**

**5. Em qual universidade você está matriculado?**

Sua resposta:

---

**5.1 Qual semestre você está cursando atualmente?**

Sua resposta:

---

**Se você escolheu "pós graduação", responda:**

**5. Em qual universidade você está matriculado?**

Sua resposta:

---

**5.1 A qual programa de pós-graduação você pertence?**

Sua resposta:

---

**Se você escolheu "professor", responda:**

**5. Em qual universidade você leciona atualmente?**

Sua resposta:

---

**5.1 A qual departamento da universidade você está associado?**

Sua resposta:

---

**6. Quais são as suas expectativas para o workshop?**

Sua resposta:

---

---

---

---

**7. O que você entende por otimização?**

Sua resposta:

---

---

---

---

**8. Quais ferramentas, práticas e digitais, você utiliza no processo de projeto?**

Sua resposta:

---

---

---

---

**9. Classifique seu conhecimento quanto aos temas abaixo**

	<b>Desconhecido</b>	<b>Reconheço o termo, mas não conheço o significado</b>	<b>Tenho algum conhecimento</b>	<b>Conheço</b>	<b>Tenho domínio</b>
<b>Bio-inspirações / Biomimética</b>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
<b>Design algoritmo/paramétrico</b>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
<b>Morfogênese</b>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
<b>Otimização</b>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
<b>Agent-based Modeling / Algoritmo genético</b>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>

## ANEXO B

### Questionário Diário - Estratégias de otimização orientadas pela natureza em projetos de Design e de Arquitetura

---

Este questionário será enviado ao final de cada encontro visando possibilitar um acompanhamento do aluno ao longo do curso.

Este questionário faz parte da pesquisa de dissertação de mestrado da aluna Marina Pires de Castro Aguiar Vale, intitulada "Contribuições pedagógicas para o ensino da morfogênese computacional aplicada em projetos de Design e Arquitetura", e vinculada ao Programa de Pós Graduação em Design da Universidade Federal do Rio Grande do Sul.

#### 1. Preencha a data da aula:

Data: \_\_\_/\_\_\_/\_\_\_

Aula Teórica
São aquelas com apresentação de conteúdo, definição de conceitos e demais explicações sobre os temas.

#### 2. Houve alguma aula teórica apresentada hoje?

Sim

Não

**2.2 Em caso positivo, classifique quanto a aula teórica apresentada contribuiu para a sua compreensão do tema. Considere que 0 como "não havendo contribuição" e 10 como "contribuição fundamental".**

0 1 2 3 4 5 6 7 8 9 10

### Atividade Analógica

São aquelas atividades práticas realizadas "manualmente", ainda que em meio digital, como exercícios no Miro. Essas não envolvem a execução de códigos.

**3. Houve alguma atividade analógica na aula de hoje?**

Sim

Não

**3.1 Em caso positivo, classifique quanto as atividades práticas realizadas contribuíram com a sua compreensão do tema. Considere que 0 como "não havendo contribuição" e 10 como "contribuição fundamental".**

0 1 2 3 4 5 6 7 8 9 10

### Atividade Computacional

São as atividades realizadas dentro da interface do Grasshopper e Rhinoceros 3D com o desenvolvimento e implementação de códigos.

**4. Houve alguma atividade computacional na aula de hoje?**

**Sim**

**Não**

**4.1 Em caso positivo, classifique quanto às atividades computacionais realizadas contribuíram com a sua compreensão do tema. Considere que 0 como "não havendo contribuição" e 10 como "contribuição fundamental".**

0 1 2 3 4 5 6 7 8 9 10

### Avaliação Geral

**5. Você sentiu alguma dificuldade durante a aula de hoje?**

Sua resposta:

---

---

---

---

**6. Houve algum ponto positivo da aula que você gostaria de destacar?**

Sua resposta:

---

---

---

---

**7. Esse espaço é aberto para comentários e sugestões que deseje fazer.**

Sua resposta:

---

---

---

---

## ANEXO C

### Questionário Final - Estratégias de otimização orientadas pela natureza em projetos de Design e de Arquitetura

---

Este questionário faz parte da pesquisa de dissertação de mestrado da aluna Marina Pires de Castro Aguiar Vale, intitulada "Contribuições pedagógicas para o ensino da morfogênese computacional aplicada em projetos de Design e Arquitetura", e vinculada ao Programa de Pós Graduação em Design da Universidade Federal do Rio Grande do Sul.

#### 1. Qual a sua cidade e seu estado?

Sua resposta:

---

#### 2. Qual a sua idade?

Sua resposta:

---

#### 3. Qual a sua área? Você pode marcar quantas opções desejar.

- Design de Produto
  - Design Gráfico
  - Arquitetura de Interiores
  - Arquitetura
  - Urbanismo
  - Outro:
-

**4. Em qual categoria você se enquadra?**

- Aluno de Graduação
  - Aluno de Pós Graduação
  - Profissional
  - Professor
  - Outro:
- 

**5. Classifique quanto o curso atendeu às suas expectativas: Considere que 0 como "não atendeu nenhuma expectativa" e 10 como "atendeu todas as expectativas".**

- 
- 0 1 2 3 4 5 6 7 8 9 10

**6. Natureza em Projetos**

Classifique o quanto as atividades realizadas no curso contribuíram para o seu aprendizado e compreensão do uso da natureza como estratégia de inovação em projetos. Considere que 0 como "não havendo contribuição" e 10 como "contribuição fundamental".

**6.1 Atividade de inovação biomimética**

- 
- 0 1 2 3 4 5 6 7 8 9 10

**6.2 Atividade dos seis conceitos da natureza**

0 1 2 3 4 5 6 7 8 9 10

### 6.3 Experimentação com fractais

0 1 2 3 4 5 6 7 8 9 10

## 7. Design Paramétrico e Pensamento Algorítmico

Classifique o quanto as atividades realizadas no curso contribuíram para o seu aprendizado e compreensão do design paramétrico e do pensamento algorítmico. Considere que 0 como "não havendo contribuição" e 10 como "contribuição fundamental".

### 7.1 Diagrama de nós da receita do bolo

0 1 2 3 4 5 6 7 8 9 10

### 7.2 Diagrama de nós da volumetria

0 1 2 3 4 5 6 7 8 9 10

### 7.3 Código do Grasshopper da cobertura

0 1 2 3 4 5 6 7 8 9 10

### 7.4 Código do Grasshopper do mobiliário

0 1 2 3 4 5 6 7 8 9 10

## 8. Design Paramétrico e Pensamento Algorítmico - Material complementar

Classifique o quanto o material de suporte disponibilizado para as atividades realizadas no curso contribuiu para o seu aprendizado e compreensão do design paramétrico e do pensamento algorítmico. Considere que 0 como "não havendo contribuição" e 10 como "contribuição fundamental".

### 8.1 Diagramas explicativos dos códigos

0 1 2 3 4 5 6 7 8 9 10

### 8.2 Vídeos gravados com a realização dos códigos

0 1 2 3 4 5 6 7 8 9 10

## 9. Morfogenese Computacional

Classifique o quanto as atividades realizadas no curso contribuíram para o seu aprendizado e compreensão da morfogenese computacional aplicada em projetos. Considere que 0 como "não havendo contribuição" e 10 como "contribuição fundamental".

### 9.1 Atividade dos princípios evolutivos

0 1 2 3 4 5 6 7 8 9 10

## 9.2 Atividade de Agent-based Modeling

0 1 2 3 4 5 6 7 8 9 10

## 9.3 Exercício Final

0 1 2 3 4 5 6 7 8 9 10

## 10. Morfogenese Computacional - Material complementar

Classifique o quanto o material de suporte disponibilizado para as atividades realizadas no curso contribuiu para o seu aprendizado e compreensão da morfogenese computacional aplicada em projetos. Considere que 0 como "não havendo contribuição" e 10 como "contribuição fundamental".

### 10.1 Diagramas explicativos dos códigos

0 1 2 3 4 5 6 7 8 9 10

### 10.2 Vídeos gravados com a realização dos códigos

0 1 2 3 4 5 6 7 8 9 10

## 11. Você pretende seguir utilizando algum dos conceitos apresentados no workshop? Por que?

Sua resposta:

---

---

---

---

**12. Em caso positivo, quais conceitos você pretende seguir utilizando?**

- Projeto inspirado na natureza
- Biomimética
- Design Paramétrico
- Morfogenese Computacional
- Otimização

**13. Você sentiu dificuldades? Em caso positivo, estas estão relacionadas a quais temáticas?**

Sua resposta:

---

---

**14. Esse espaço é aberto para comentários e sugestões que deseje fazer.**

Sua resposta:

---

---

---

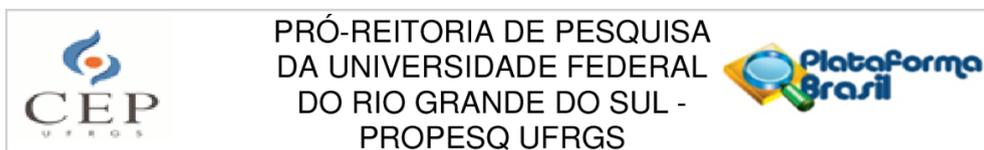
---

---

---

---

## ANEXO D



### PARECER CONSUBSTANCIADO DO CEP

#### DADOS DO PROJETO DE PESQUISA

**Título da Pesquisa:** CONTRIBUIÇÕES PEDAGÓGICAS PARA O ENSINO DA MORFOGÊNESE COMPUTACIONAL APLICADA EM PROJETOS DE DESIGN E ARQUITETURA

**Pesquisador:** Underléa Miotto Bruscato

**Área Temática:**

**Versão:** 2

**CAAE:** 47207621.9.0000.5347

**Instituição Proponente:** Faculdade de Arquitetura UFRGS

**Patrocinador Principal:** Financiamento Próprio

#### DADOS DO PARECER

**Número do Parecer:** 4.807.953

#### Apresentação do Projeto:

Esse parecer relata o projeto de pesquisa intitulado "Contribuições pedagógicas para o ensino da morfogênese Computacional aplicada em projetos de design e arquitetura". É um projeto de mestrado de Marina Pires de Castro Aguiar Vale, orientado pela professora Dra. Underléa Miotto Bruscato. Trata-se de um estudo descritivo com uma abordagem qualitativa. O projeto tem financiamento próprio. A amostra contará com 30 indivíduos (15 estudantes graduação e 15 de outros (pós-graduação e profissionais) participantes de um curso de extensão já aprovado na Universidade que aceitaram o convite para participar na pesquisa. O curso ocorrerá em 10 encontros com duração de 3 horas cada. A coleta de dados será realizada por análise documental (materiais produzidos pelos participantes no curso), 11 questionários a serem respondidos pelos participantes (inicial, nos 9 encontros e final) e observação qualitativa pelos pesquisadores das aulas do curso. A análise dos dados coletados será por meio da análise de conteúdo, definido por Bardin.

#### Objetivo da Pesquisa:

**OBJETIVO GERAL:** desenvolver, implementar e avaliar uma proposta de estratégia pedagógica que contemple o ensino do projeto morfogênico computacional, e por consequência de modelo de desempenho, na instancia de Ensino Remoto.

**OBJETIVOS ESPECÍFICOS:** 1. Desenvolver, e adaptar quando necessário, artefatos e materiais

**Endereço:** Av. Paulo Gama, 110 - Sala 311 do Prédio Anexo 1 da Reitoria - Campus Centro  
**Bairro:** Farroupilha **CEP:** 90.040-060  
**UF:** RS **Município:** PORTO ALEGRE  
**Telefone:** (51)3308-3738 **Fax:** (51)3308-4085 **E-mail:** etica@propesq.ufrgs.br



PRÓ-REITORIA DE PESQUISA  
DA UNIVERSIDADE FEDERAL  
DO RIO GRANDE DO SUL -  
PROPESQ UFRGS



Continuação do Parecer: 4.807.953

didáticos a serem utilizados nas dinâmicas pedagógicas; 2. Avaliar o uso de uma abordagem analógico/computacional como meio de colaborar para a compreensão do design computacional e da morfogênese natural; 3. Avaliar a percepção e aceitação dos discentes quanto às ferramentas de ensino remoto implementadas; 4. Analisar a percepção dos discentes quanto a utilização e implementação do projeto morfogenético computacional; 5. Propor heurísticas para a implementação do ensino da morfogênese computacional em cursos de design, arquitetura e urbanismo.

#### **Avaliação dos Riscos e Benefícios:**

Segundo os pesquisadores, os riscos da pesquisa podem incluir frustração psicológica na possibilidade das atividades práticas e computacionais desenvolvidas pela autora desta pesquisa e utilizados no curso possuírem dificuldade exacerbada para o(a) aluno(a); neste caso, o(a) aluno(a) tem a liberdade de interromper as respectivas atividades e continuar somente assistindo ao exercício para obter o embasamento teórico dessas. Como alternativa, será ofertada a possibilidade de orientações e assessoramentos fora do horário de aula, se necessário, pela mestranda/pesquisadora, com objetivo de auxiliar o aluno a lidar com os novos domínios de conhecimento com o qual terá contato durante o experimento. Quanto aos questionários, o participante terá a liberdade de se recusar a responder qualquer uma das questões presentes nos arquivos em qualquer momento que decida, caso essa lhe cause algum tipo de desconforto, sem qualquer prejuízo. Todo e qualquer outro risco que possa vir a ocorrer deverá ser minimizado ou eliminado pela pesquisadora, mesmo que isso resulte no encerramento da pesquisa. É importante ressaltar que não há pesquisas sem riscos, contudo os procedimentos utilizados irão visar minimizar qualquer risco que possa vir a ocorrer.

Como benefícios aos participantes, espera-se que tenham benefícios diretos relacionados à aprendizagem dos conceitos referentes à inovação orientada pela natureza, do design paramétrico e do projeto morfogenético computacional. Espera-se ainda que futuramente os resultados deste estudo sejam usados em benefício do estado da arte da pesquisa relacionada ao tema, e que você possa usufruir desses benefícios.

#### **Comentários e Considerações sobre a Pesquisa:**

O projeto é relevante ao contribuir para a melhoria do ensino de arquitetura e design através da incorporação do desenho com a natureza nestes campos de conhecimento. De modo geral o projeto está bem estruturado, atendendo às exigências acadêmicas e científicas. A introdução

**Endereço:** Av. Paulo Gama, 110 - Sala 311 do Prédio Anexo 1 da Reitoria - Campus Centro  
**Bairro:** Farroupilha **CEP:** 90.040-060  
**UF:** RS **Município:** PORTO ALEGRE  
**Telefone:** (51)3308-3738 **Fax:** (51)3308-4085 **E-mail:** etica@propesq.ufrgs.br

Página 02 de 04



PRÓ-REITORIA DE PESQUISA  
DA UNIVERSIDADE FEDERAL  
DO RIO GRANDE DO SUL -  
PROPESQ UFRGS



Continuação do Parecer: 4.807.953

apresenta e justifica a escolha pelo tema e a revisão de literatura está consistente. A escolha dos caminhos metodológicos está alinhada ao objetivo da pesquisa, no entanto, algumas descrições estão incompletas sobre os procedimentos de captação amostral, coleta e análise dos dados. O cronograma e a descrição dos aspectos éticos estão adequados.

**Considerações sobre os Termos de apresentação obrigatória:**

Apresenta os seguintes termos: TCLE, folha de rosto, formulário da PB e parecer da Compesq.

**Conclusões ou Pendências e Lista de Inadequações:**

As pendências da versão anterior foram atendidas, de modo que o projeto se encontra em acordo com as resoluções CNS no. 466/2012 e 510/2016, e estando em condição de ser aprovado.

**Considerações Finais a critério do CEP:**

Aprovado.

**Este parecer foi elaborado baseado nos documentos abaixo relacionados:**

Tipo Documento	Arquivo	Postagem	Autor	Situação
Informações Básicas do Projeto	PB_INFORMAÇÕES_BÁSICAS_DO_PROJETO_1747026.pdf	23/06/2021 12:37:05		Aceito
Outros	MV_Carta_Resposta.pdf	23/06/2021 12:35:11	MARINA PIRES DE CASTRO AGUIAR VALE	Aceito
Parecer Anterior	PB_PARECER_CONSUBSTANCIADO_CEP_4765451.pdf	23/06/2021 12:34:38	MARINA PIRES DE CASTRO AGUIAR VALE	Aceito
Projeto Detalhado / Brochura Investigador	MV_Projeto_de_Pesquisa.pdf	23/06/2021 12:34:14	MARINA PIRES DE CASTRO AGUIAR VALE	Aceito
TCLE / Termos de Assentimento / Justificativa de Ausência	MV_Termo_de_Consentimento_livre_e_Esclarecido.pdf	23/06/2021 12:33:37	MARINA PIRES DE CASTRO AGUIAR VALE	Aceito
Cronograma	MV_Cronograma.pdf	23/06/2021 12:33:04	MARINA PIRES DE CASTRO AGUIAR VALE	Aceito
Folha de Rosto	MV_FolhaDeRosto.pdf	19/05/2021 21:39:43	MARINA PIRES DE CASTRO AGUIAR VALE	Aceito
Outros	MV_Parecer_Comissao_de_Pesquisa.pdf	18/05/2021 21:43:37	MARINA PIRES DE CASTRO AGUIAR VALE	Aceito

**Endereço:** Av. Paulo Gama, 110 - Sala 311 do Prédio Anexo 1 da Reitoria - Campus Centro  
**Bairro:** Farroupilha **CEP:** 90.040-060  
**UF:** RS **Município:** PORTO ALEGRE  
**Telefone:** (51)3308-3738 **Fax:** (51)3308-4085 **E-mail:** etica@propesq.ufrgs.br



PRÓ-REITORIA DE PESQUISA  
DA UNIVERSIDADE FEDERAL  
DO RIO GRANDE DO SUL -  
PROPESQ UFRGS



Continuação do Parecer: 4.807.953

**Situação do Parecer:**

Aprovado

**Necessita Apreciação da CONEP:**

Não

PORTO ALEGRE, 25 de Junho de 2021

---

**Assinado por:**

**Patrícia Daniela Melchioris Angst  
(Coordenador(a))**

**Endereço:** Av. Paulo Gama, 110 - Sala 311 do Prédio Anexo 1 da Reitoria - Campus Centro  
**Bairro:** Farroupilha **CEP:** 90.040-060  
**UF:** RS **Município:** PORTO ALEGRE  
**Telefone:** (51)3308-3738 **Fax:** (51)3308-4085 **E-mail:** etica@propesq.ufrgs.br

Página 04 de 04

**ANEXO E**

## **TERMO DE CONSENTIMENTO LIVRE E ESCLARECIDO**

Alunos participantes do curso da ação extensão intitulado "Contribuições pedagógicas para o ensino da morfogênese computacional aplicada em projetos de Design e Arquitetura" realizado em 2021 pela Universidade Federal do Rio Grande do Sul.

---

Eu, Profa. Dra. Underléa Miotto Bruscato, professora do Programa de Pós-graduação em Design – PGDESIGN da Universidade Federal do Rio Grande do Sul, venho por meio deste documento convidá-lo(a) a participar da pesquisa de mestrado intitulada "Contribuições pedagógicas para o ensino da morfogênese computacional aplicada em projetos de Design e Arquitetura", desenvolvida sob minha orientação pela mestranda Marina Pires de Castro Aguiar Vale.

1. NATUREZA DA PESQUISA: esta pesquisa é parte da dissertação de mestrado de Marina Pires de Castro Aguiar Vale e tem como objetivo desenvolver, implementar e avaliar uma proposta de estratégia pedagógica que contemple o ensino do projeto morfogenético computacional e, por consequência, de modelo de desempenho, na modalidade de ensino remoto.

2. PARTICIPANTES DA PESQUISA: alunos participantes do curso de extensão intitulado "Estratégias de otimização orientadas pela natureza em projetos de Design e de Arquitetura" do Programa de Pós-graduação em Design – PGDESIGN da Universidade Federal do Rio Grande do Sul.

3. ENVOLVIMENTO NA PESQUISA: A pesquisa é composta por três procedimentos que serão analisados ao longo da aplicação das atividades. Você poderá optar por

participar de todos ou de apenas alguns aspectos do estudo. Por favor, marque as etapas que consente em participar:

*Observações Qualitativas* durante a realização das atividades teórico-práticas – ao contribuir com esta pesquisa, você concorda em ser observado durante a realização das atividades para que se compreenda as dificuldades e facilidades encontradas ao longo do processo de aprendizagem das atividades realizadas no curso.

*Análise Documental* - ao contribuir com esta pesquisa, você permite que os seus resultados dos exercícios realizados ao longo do curso sejam analisados. Além disso, você concorda em ceder os arquivos dos modelos digitais criados ao longo do curso para análise.

Questionários – ao contribuir com esta pesquisa você concorda em participar do preenchimento de questionários. Esses serão disponibilizados online, através do google forms, totalizando até 11 questionários. Essa quantidade está dividida em: um questionário preenchido antes do início das aulas, um questionário a ser preenchido no final de cada aula, e por fim um questionário preenchido ao se concluir o curso.

4. RISCOS E DESCONFORTO: a participação nesta pesquisa não traz complicações legais de nenhuma ordem e os procedimentos utilizados obedecem aos critérios da ética na Pesquisa com Seres Humanos conforme a Resolução no 510 de 7 de abril de 2016 do CEP/CONEP.

Os riscos da pesquisa podem incluir frustração psicológica na possibilidade das atividades práticas e computacionais desenvolvidas pela autora desta pesquisa e utilizados no curso possuírem dificuldade exacerbada para o(a) aluno(a); neste caso, o(a) aluno(a) tem a liberdade de interromper as respectivas atividades e continuar somente assistindo ao exercício para obter o embasamento teórico dessas. Como alternativa, será ofertada a possibilidade de orientações e assessoramentos fora do horário de aula, se necessário, pela mestranda/pesquisadora, com objetivo de auxiliar o aluno a lidar com os novos domínios de conhecimento com o qual terá contato durante o experimento.

Quanto aos questionários, você tem a liberdade de se recusar a responder qualquer uma das questões presentes nos arquivos em qualquer momento que decida, caso essa lhe cause algum tipo de desconforto, sem qualquer prejuízo.

Todo e qualquer outro risco que possa vir a ocorrer deverá ser minimizado ou eliminado pela pesquisadora, mesmo que isso resulte no encerramento da pesquisa. É importante ressaltar que não há pesquisas sem riscos, contudo os procedimentos utilizados irão visar minimizar qualquer risco que possa vir a ocorrer.

5. CONFIDENCIALIDADE: Todas as informações coletadas nesta investigação são estritamente confidenciais e serão colocadas à disposição dos pesquisadores responsáveis. Acima de tudo, interessam os dados coletivos e não aspectos particulares de cada entrevistado.

6. BENEFÍCIOS: Espera-se que ao participar desta pesquisa, o(a) Sr.(a) tenha benefícios diretos relacionados à aprendizagem dos conceitos referentes à inovação orientada pela natureza, do design paramétrico e do projeto morfogenético computacional. Espera-se ainda que futuramente os resultados deste estudo sejam usados em benefício do estado da arte da pesquisa relacionada ao tema, e que você possa usufruir desses benefícios.

7. PAGAMENTO: Você não terá nenhum tipo de despesa por participar deste estudo, bem como não receberá nenhum tipo de pagamento por sua participação.

8. ARMAZENAGEM DE DADOS: Todos os documentos resultantes da pesquisa serão guardados pelo período de cinco anos após a finalização do estudo, quando serão excluídos e/ou destruídos.

9. OBSERVAÇÕES FINAIS: salientamos que a sua participação nesse estudo é completamente voluntária e que você poderá desistir a qualquer momento, sem que isso acarrete nenhum tipo de consequência a sua pessoa. Você poderá solicitar novos esclarecimentos sobre a pesquisa ou sobre os resultados através do telefone (51) 9993-0170 ou pelo e-mail [arq.leiab@gmail.com](mailto:arq.leiab@gmail.com), com o próprio pesquisador responsável, ou com o CEP (Comitê de Ética em Pesquisa) da UFRGS através do telefone (51)3308-3738 ou pelo e-mail [etica@propesq.ufrgs.br](mailto:etica@propesq.ufrgs.br).

Após estes esclarecimentos, solicitamos o seu consentimento de forma livre para que o Sr.(a) participe desta pesquisa. Solicito, também, autorização para realizar a observação qualitativa, a análise documental, os questionários, e fazer uso e publicação de qualquer tipo de material resultante do curso. Os arquivos das observações, das análises, dos questionários, os resultados dos exercícios, e os arquivos digitais dos modelos serão confidenciais e usados por mim, Underléa Miotto Bruscato, para análise conjunta dos dados e lhe asseguro total preservação de sua identidade.

Para tanto, preencha os itens que se seguem:

1. Tendo em vista os itens acima apresentados, eu, de forma livre e esclarecida, informo que posso participar desta pesquisa.

<b>Nome do(a) participante:</b>	
<b>Assinatura do(a) participante:</b>	
<b>Data e local:</b>	

<b>Nome do pesquisador:</b>	Underléa Miotto Bruscato
<b>Assinatura do pesquisador:</b>	

<b>Comitê de Ética em Pesquisa – Pró-Reitoria de Pesquisa - UFRGS</b>			
Endereço: Av. Paulo Gama, 110 - 2º andar do Prédio da Reitoria - Campus Centro			
Bairro: Farroupilha	CEP: 90.040-060	UF: RS	Município: Porto Alegre
Telefone: (51)3308-3738	Fax: (51)3308-4085	E-mail: etica@propesq.ufrgs.br	

**Contato da Pesquisadora:**

E-mail: [arq.leiab@gmail.com](mailto:arq.leiab@gmail.com)

Cel: +55 51 9993-0170

## ANEXO F

Acesse todo o conteúdo utilizado no curso por meio do QR code abaixo ou pelo [link](#).



## ANEXO G

Respostas dos participantes às perguntas abertas do questionário preliminar  
(ANEXO A)

### Quais são as suas expectativas para o workshop?

“Aprofundar meu conhecimento prático em Grasshopper”

“Aprofundar meus conhecimentos em grasshopper/rhino permitindo o maior uso da ferramenta na criação de projetos”

“Compreender uma forma de aplicação das estratégias da natureza no processo de projeto paramétrico e algorítmico.”

“Compreender conceitos e aprofundar conhecimentos em ferramentas vinculadas à temática Design Paramétrico”

“Acredito que o conteúdo vai ajudar a desenvolver processos de projeto mais interessantes e dinâmicos.”

“Compreender melhor as ferramentas de otimização que se relacionam com a natureza e ser apta de aplicar isso a futuros projetos.”

“Aprender mais ainda sobre otimização”

“Aprender mais a fundo sobre a ferramenta grasshopper e sobre algoritmo generativo”

“Espero lembrar o que eu já tinha aprendido sobre o Rhino, Grasshopper e design paramétrico, e, além disso, aprender práticas e conceitos novos que me auxiliem a criar projetos mais bonitos e eficientes e com mais inspirações utilizando esses softwares”

“Ampliar minha capacidade de projetar utilizando novos conceitos.”

“Aprender mais sobre o uso do Rhino e sobre as referências da natureza que podem ser utilizadas nos projetos e como melhor adequá-las.”

“Aprender mais sobre arquitetura paramétrica”

“Ter um conhecimento mais profundo sobre os tópicos abordados na disciplina de Representação Gráfica III: do design e da arquitetura paramétricos. Cursando a cadeira já percebi que é uma área bastante complexa, mas que, se bem compreendida, nos abre muito o campo de oportunidades e formas de projetar enquanto arquitetos.”

“Aprender conceitos e estratégias para projetar, visando obter projetos mais eficientes, responsivos, assertivos e inovadores.”

“Entender melhor como funciona o processo de utilizar a natureza para otimizações no design e arquitetura”

“Aprender mais sobre ferramentas e processos”

“Atar os conceitos de otimização e de arquitetura.”

### **O que você entende por otimização?**

“Melhora e eficiência”

“Maior facilidade e menor tempo ao realizar uma tarefa em comparação a dificuldade e tempo normais para a pessoa”

“Encontrar a melhor solução para determinado problema conforme critérios pré-estabelecidos.”

“Processos mais rápidos e/ou automatizados”

“Entendo como uma forma de potencializar os resultados e enriquecer o processo criativo.”

“Oferecer condições que melhorem o desempenho de um processo, podendo, por exemplo, aumentar a velocidade do desenvolvimento ou facilitar mudanças posteriores.”

“Facilitador do nosso trabalho”

“otimização seria uma praticidade, uma organização para tornar algo rápido e mais compreensivo”

“Otimizar para mim é tornar algo mais eficiente, melhor desenvolvido dentro de seu propósito”

“Otimização na arquitetura eu diria ser um modo de projetar algo visando a melhor condição de algum critério decidido. Por exemplo, ao projetar uma estrutura visando a que sua forma seja a que se adapte melhor aos esforços mecânicos, não exigindo gastos desnecessários com reforço de estrutura.”

“Obter o melhor resultado possível de algum processo identificando a maneira mais fácil e rápida de executá-lo sem perder qualidade.”

“Busca do melhor aproveitamento ou rendimento possível.”

“Otimização, ao meu ver, é facilitar um processo, é uma maneira mais simples e sucinta de se chegar a um objetivo. Também acabo relacionando bastante a palavra com "aquilo que nos toma menos tempo", afinal, sabemos que para representar os nossos projetos se leva muito tempo desenhando, e uma ferramenta otimizada, ao meu ver, conseguiria transpor nossas ideias da cabeça para a tela ou papel de um modo mais rápido. Por último, também penso que otimização vem do "ótimo", então seria a concepção de um processo onde se almeja obter os melhores resultados possíveis dentro do mínimo tempo e retrabalho.”

“Entende que otimização está vinculada a eficiência quando se fala em projeto. Uma edificação ou projeto otimizado está pensado para se obter o melhor desempenho possível, seja em sua forma, custo, insolação, acústica, estabilidade...”

“Entendo como otimização a melhora do funcionamento de algo”

“Tornar algo mais eficiente. Economizando tempo e evitando a repetição de certos processos”

“Meu contato com otimização está atrelado à processos de benchmarking”

“Diminuir o tempo de trabalho mantendo ou ainda aumentando a qualidade do resultado”

**Quais ferramentas, práticas e digitais, você utiliza no processo de projeto?**

“Croquis em papel e o software revit, na maioria das vezes”

“Desenho à mão livre (criação), pinterest/google (para referências), archicad ou autocad/sketchup (desenvolvimento)”

“Croquis, desenhos, pesquisa de referências, maquete de papel, CAD, modelagem digital, BIM.”

“Croqui, 3D em Sketchup e ArchiCAD”

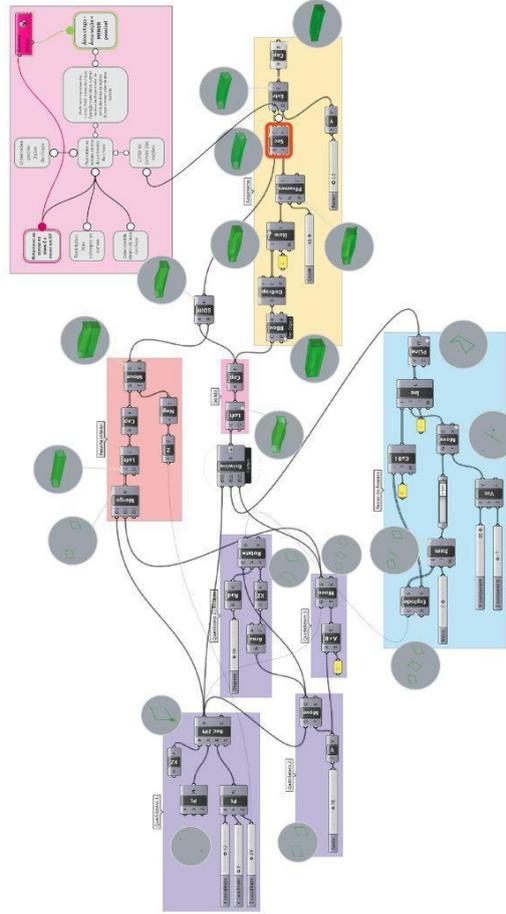
“Archicad, SketchUp, Sketchbook e folhas de desenho, AutoCAD, Photoshop.”

“Normalmente inicio o processo de projeto com croquis em lápis e, eventualmente, monto maquetes bem simples. Após, uso softwares BIM como o archicad para melhor desenvolvimento do projeto.”

“Archicad”

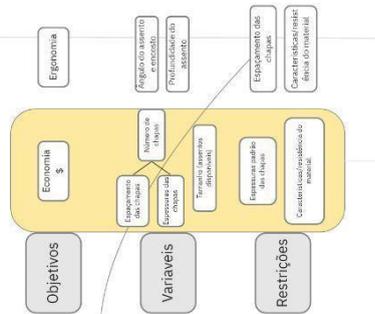
“Archicad, Lumion, Autocad, SketchUp”

# ANEXO H



**Solução final pensada**  
Aproveitamento de corte das chapas de madeira, evitando desperdício

**Comportamentos da natureza percebidos**  
Auto-organização



**Aula 09 Atividade 01**

Com base na atividade realizada com base na atividade realizada, descreva o processo de utilização de algoritmos de otimização de corte de chapas de madeira. O exemplo será composto de três partes:

1. Descrição do problema de otimização de corte de chapas de madeira, considerando as características das chapas de madeira, as necessidades de corte, as restrições de corte e as características das chapas de madeira.
2. Descrição do algoritmo de otimização de corte de chapas de madeira, considerando as características das chapas de madeira, as necessidades de corte e as restrições de corte.
3. Descrição dos resultados obtidos com o algoritmo de otimização de corte de chapas de madeira, considerando as características das chapas de madeira, as necessidades de corte e as restrições de corte.

**Equipe 4**  
Nome: Priscilla de Castro Jurg  
Nome: Gabriel de Castro Jurg  
Nome: Lucas de Castro Jurg

A atividade deverá ser realizada em grupo, com a participação em 20 minutos.

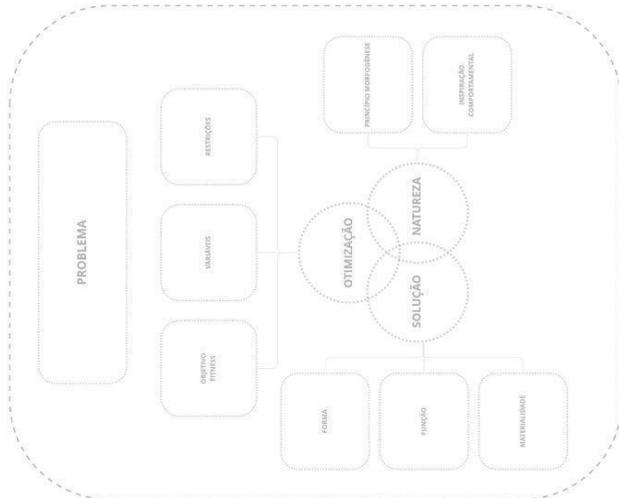
# ANEXO I

**Atividade 01**

Esta atividade visa analisar um problema que seja apresentado em um contexto de programação de computadores, utilizando a metodologia de resolução de problemas.

1. Descrever o problema em termos de linguagem de programação.
2. Identificar as restrições do problema.
3. Definir o objetivo a ser alcançado e as variáveis envolvidas.
4. Definir a natureza do problema e a função objetivo.
5. Definir as condições de contorno e as restrições.

A atividade deverá ser realizada em grupo, com a duração de 45 minutos.



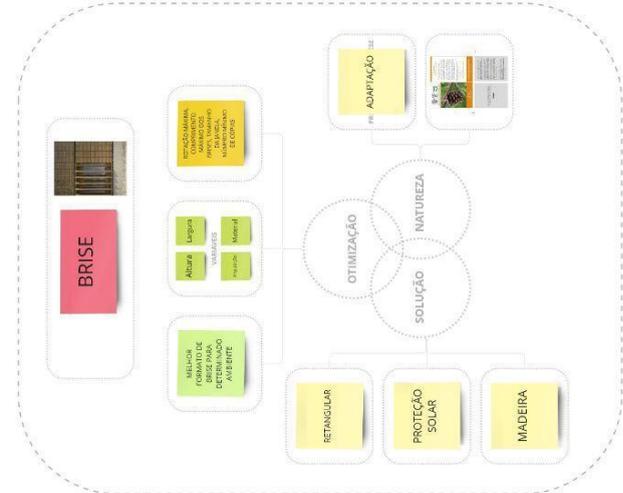
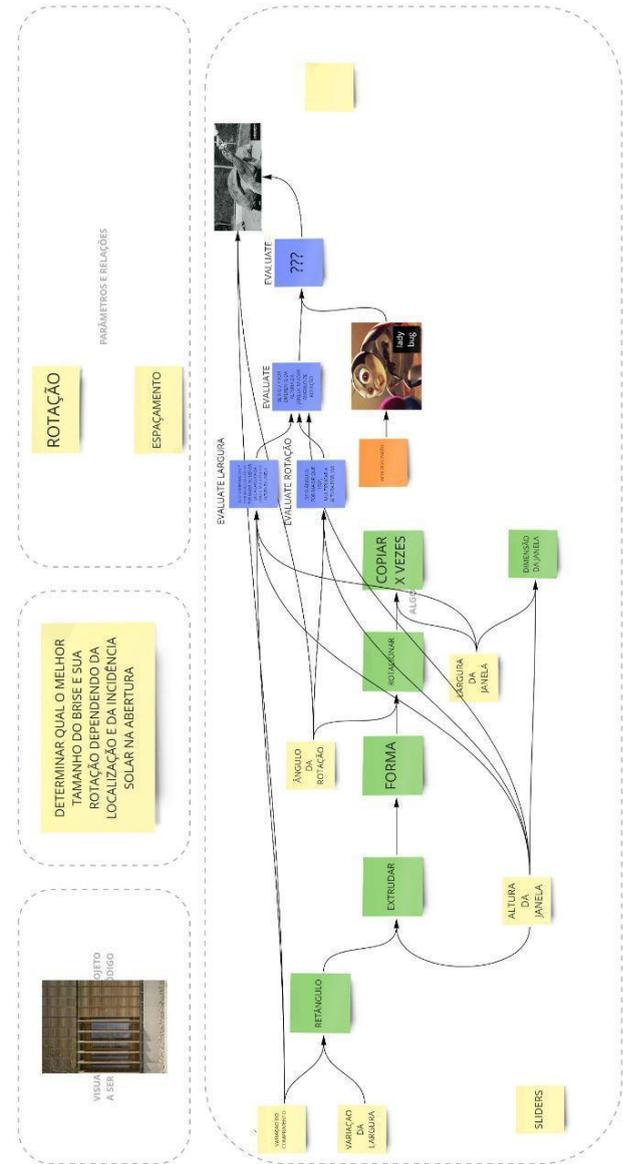
VISUALIDADE INICIAL DO PROJETO A SER DESENVOLVIDO NO ORGÃO

OBJETIVO DO CÓDIGO

PARÂMETROS E RELAÇÕES

ALGORITMO

# ANEXO J

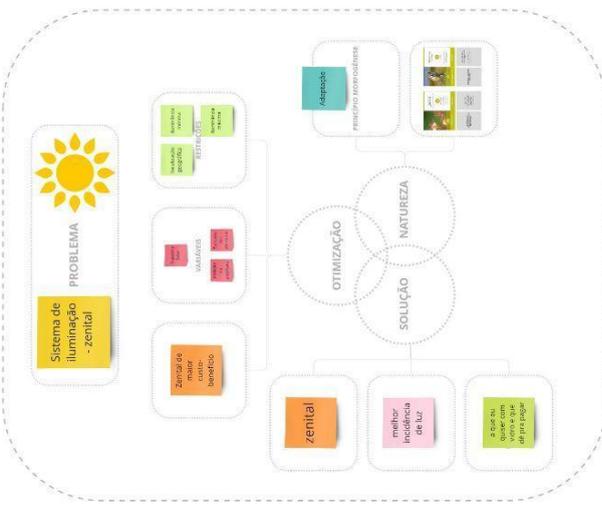


**Aula 10**  
**Atividade 01**

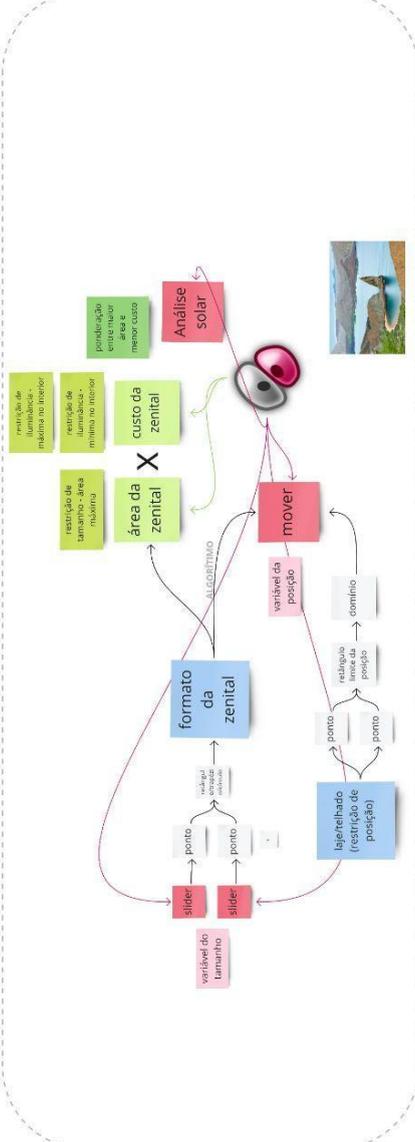
Para esta atividade, você deve ler o texto e responder às perguntas que se seguem. Depois, discutir as respostas em grupo e apresentar para a turma. O professor avaliará a participação de cada um dos alunos.

1. Qual é o objetivo principal da atividade?
2. Por que é importante considerar o conforto e o bem-estar do usuário ao projetar um sistema de brise?
3. Quais são os fatores que influenciam a escolha do material e da forma do brise?
4. Como a localização e a incidência solar afetam a escolha do tamanho e da rotação do brise?
5. Quais são os benefícios de um sistema de brise bem projetado?

**Equipe 2**  
 Diana  
 Lucas  
 Mariana



O maior gancho com o menor custo possível para um determinado projeto



## Anexo K

Respostas dos participantes às perguntas abertas do questionário final (ANEXO C).

### **Você sentiu dificuldades? Em caso positivo, essas estão relacionadas a quais temáticas?**

“Sim, não foi a uma temática específica, mas sim conforme as coisas iam ficando cada vez mais complexas, mais difícil ficava de entender o processo. Mas revisando o conteúdo, pude entender melhor.”

“Não, todas as dúvidas foram acolhidas durante a aula e consegui dar andamento no curso.”

“Conforme aumentava a complexidade dos códigos estudados, eu sentia mais dificuldade em entender o processo. Quando explicado, fazia sentido, mas pensando em ter autonomia e fazer aquilo sozinha, só tive esse sentimento nos dois primeiros exercícios (caixa e caixa retorcida). A lógica ficou bastante clara, mas se mostrou também muito complexa. A maior dificuldade foi a partir do Karamba, indo até o Galapagos, nessa parte me senti pouco confiante no entendimento completo dos processos. “

“Apenas na aula de biologia hahah que foi meio confusa, acredito que o objetivo prático da aula e dos conceitos que estavam sendo apresentados poderia ter sido explicado um pouco melhor. “

“As partes mais difíceis do curso em si, para mim, foram as de otimização e sobre as relações de emergência, evolução, que inicialmente, demoraram muito para haver um compreensão.”

“Não”

“Não”

“Houve algumas confusões em definir parâmetros, restrições e variáveis, em saber identificar o que encaixa nessas definições em cada situação.”

“A parte final foi um pouco confusa no início, relacionar os processos de otimização com o Galápagos com algo do mundo real foi complicado e demorei um pouco para entender, mas atividades realizadas foram fundamentais para sanar todas as dúvidas.”

“Sim, na parte de otimização.”

**Esse espaço é aberto para comentários e sugestões que deseje fazer.**

“Gostei muito do curso e creio que aprendi muito em pouquíssimo tempo.”

“Foi um curso maravilhoso, que criou novas perspectivas para desenvolver meus projetos. A metodologia aplicada foi muito boa, usando aulas teóricas que embasavam os conceitos e atividades feitas em sequência. O estudo dos códigos antes da sua execução também foram de extrema importância, pois diferenciou o método de ensino, esclarecendo o cenário antes de realizá-lo.”

“Obrigada Marina por todo teu empenho, com certeza tu tiveste muito trabalho para desenvolver as aulas e os materiais e somos muito gratos por tu teres proporcionado para nós essa chuva de conhecimento maravilhosa! “

“Achei a diagramação dos slides e organização do conteúdo muito boa!! A maneira como foram feitas as aulas teóricas também!”

“Adorei o workshop de ponta a ponta. Já tinha contato com o programa antes de iniciar o workshop e eu comecei a perceber que eu não entendia a lógica que eu utilizava dentro do programa apesar de conhecer os componentes. Isso muitas vezes acarretava erros no código e eu não era capaz de consertá-los por não saber a lógica por trás da criação do código. Hoje, após o workshop eu me sinto muito mais preparada para criar novos códigos do zero, por ser capaz de entender como o programa funciona. Foi maravilhoso.”

“Gostaria que o workshop fosse um pouco mais longo, pois achei que a parte final da otimização ficou muito rápida e não consegui assimilar o conteúdo muito bem.”